

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

| Тема работы   |
|---|
| <b>Частотно-регулируемый электропривод механизма передвижения крана</b> |

УДК 62-83.52:621.873.2/.3

Студент

| Группа  | ФИО                           | Подпись | Дата |
|---------|-------------------------------|---------|------|
| 3-5Г4Б1 | Абдухаликов Хумоюн Бобир угли |         |      |

Руководитель

| Должность | ФИО              | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Однокопылов И.Г. | к.т.н.                    |         |      |

## КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Киселева Е.С. | к.э.н.                    |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность             | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Немцова О. А. |                           |         |      |

## ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| И. о. зав. кафедрой-<br>руководителя ОЭЭ ИШЭ | ФИО             | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|--|-----------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент                                       | Ивашутенко А.С. | к.т.н.                    |         |      |

Томск – 2020 г.

## Планируемые результаты обучения по ООП

| Код результата | Результат обучения   |
|----------------|--|
| <b>Р 1</b>     | Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем</i> .  |
| <b>Р 2</b>     | Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.   |
| <b>Р 3</b>     | Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> .  |
| <b>Р 4</b>     | Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.             |
| <b>Р 5</b>     | Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .  |
| <b>Р 6</b>     | Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях. |
| <b>Р 7</b>     | Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .  |
| <b>Р 8</b>     | Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники</i> .                                |
| <b>Р 9</b>     | Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .  |
| <b>Р 10</b>    | Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.  |
| <b>Р 11</b>    | Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.   |
| <b>Р 12</b>    | Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .  |

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. зав. кафедрой- руководителя  
ОЭЭ ИШЭ

\_\_\_\_\_ А.С. Ивашутенко  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

|                     |
|---------------------|
| Бакалаврской работы |
|---------------------|

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

| Группа  | ФИО                             |
|---------|---------------------------------|
| 3-5Г5Б1 | Абдухаликову Хумоюну Бобир угли |

Тема работы:

|   |                          |
|---|--------------------------|
| <b>Частотно-регулируемый электропривод механизма передвижения крана</b> |                          |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)                             | №58-27/с от 27.02.2020г. |

|  |              |
|--|--------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 29.05.2020г. |
|--|--------------|

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

|  |  |
|--|--|
| Исходные данные к работе   | Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация.  |
| Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов | Введение; описание технологического процесса; расчет и исследование электропривода, выбор основного электрического оборудования; принципиальная электрическая схема, защита и сигнализация; социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение. |

|   |   |
|---|---|
| <b>Перечень графического материала</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- схема кинематическая механизма передвижения;</li> <li>- схема электрическая функциональная;</li> <li>- схема структурная короткозамкнутого асинхронного двигателя в неподвижной системе координат;</li> <li>- схема структурная динамической модели короткозамкнутого асинхронного двигателя во вращающейся системе координат;</li> <li>- схема имитационной модели короткозамкнутого асинхронного двигателя во вращающейся системе координат;</li> <li>- демонстрационный лист;</li> <li>- технико-экономические показатели;</li> </ul> |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>                       |   |
| <b>Раздел</b>   | <b>Консультант</b>  |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение                         | Немцова Ольга Александровна   |
| Социальная ответственность  | Мезенцева Ирина Леонидовна  |
| <b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b> |   |
| Заключение  |   |

|   |              |
|---|--------------|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> | 20.03.2020г. |
|---|--------------|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность | ФИО              | Ученая степень, звание | Подпись | Дата          |
|-----------|------------------|------------------------|---------|---------------|
| Доцент    | Однокопылов И.Г. | к.т.н.                 |         | 20.03.2020г.. |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа  | ФИО                           | Подпись | Дата         |
|---------|-------------------------------|---------|--------------|
| З-5Г5Б1 | Абдухаликов Хумоюн Бобир угли |         | 20.03.2020г. |

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

Период выполнения весенний семестр 2019 /2020 учебного года

Форма представления работы:

|                     |
|---------------------|
| Бакалаврская работа |
|---------------------|

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

|  |              |
|--|--------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 29.05.2020г. |
|--|--------------|

| Дата<br>контроля | Название раздела (модуля) /<br>вид работы (исследования)           | Максимальный<br>балл раздела (модуля) |
|------------------|--|---------------------------------------|
| 22.05.2020       | Основная часть   | 60                                    |
| 15.05.2020       | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и<br>ресурсосбережение | 20                                    |
| 18.05.2020       | Социальная ответственность   | 20                                    |

**СОСТАВИЛ:**

Руководитель

| Должность | ФИО              | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Однокопылов И.Г. | К.Т.Н.                    |         |      |

**СОГЛАСОВАНО:**

**И. о. зав. кафедрой- руководителя ОЭЭ ИШЭ**

| Должность | ФИО             | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Ивашутенко А.С. | К.Т.Н.                    |         |      |

## **Реферат**

**АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ, КОНТУР СКОРОСТИ, ИЯ, ОПТИМАЛЬНАЯ НАСТРОЙКА РЕГУЛЯТОРОВ.**

Проект содержит: 128 страниц, 28 рисунка, 26 таблиц, 1 приложение, 18 источников.

Объект исследования — электропривод перемещения козлового крана .

Цель работы — разработка регулируемого электропривода для механизма передвижения козлового крана.

Методами теории оптимального управления построены структурные схемы электропривода в неподвижной и вращающейся системе координат, проведено исследование системы на математической аналоговой модели.

В результате исследования показана высокая точность перемещения груза в заданное положение, плавность при пуске и торможении.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели разработанной системы:

высокая точность отработки заданного сигнала;

возможность управления от существующих аналоговых командо-контроллеров пульта управления кабины;

снижение энергопотребления до 40%.

Эффективность разработанной системы управления определяется применением комплексного преобразователя, а также использованием современной элементной базы.

|  |    |
|--|----|
| Введение.....  | 9  |
| 1. Техническое описание козлового крана ЛТ-62.....   | 11 |
| 1.1. Устройство и работа составных частей перегрузчика .....   | 11 |
| Механизм передвижения.....   | 11 |
| 1.2. Технические данные .....  | 16 |
| 1.3. Цель работы .....   | 17 |
| 2. Расчётная часть.....  | 18 |
| 2.1. Расчёт двигателей перемещения крана.....  | 18 |
| 2.1.1. Расчёт предварительной мощности двигателя.....  | 21 |
| 2.1.2. Расчёт статического момента на валу двигателя.....  | 21 |
| 2.1.3. Расчёт динамического момента на валу двигателя .....  | 22 |
| 2.1.4. Расчёт полного момента на валу двигателя .....  | 23 |
| 2.2. Выбор двигателя.....  | 23 |
| 2.3. Проверка двигателя по техническим условиям .....  | 24 |
| 2.3.1. Проверка запаса сцепления колёс .....   | 24 |
| 2.3.2. Проверка выбора электродвигателя по максимально допустимому<br>ускорению .....                                  | 25 |
| 2.3.3. Проверка электродвигателя по тепловому режиму.....  | 27 |
| 2.4. Выбор преобразователя.....  | 28 |
| 2.5. Расчет параметров и построение механических и электромеханических<br>характеристик двигателя МТКФ (Н) 311-6 ..... | 30 |
| 2.5.1. Расчет параметров двигателя МТКФ (Н) 311-6.....   | 30 |
| 2.5.2. Механические характеристики асинхронного двигателя .....  | 33 |
| 2.5.3. Электромеханические характеристики асинхронного двигателя .....   | 35 |
| 2.6 Статические характеристики скалярного управления регулируемым<br>электроприводом .....                             | 37 |
| 2.7. Расчёт и выбор тормозного резистора для моста передвижения.....   | 40 |
| 3. Модель асинхронного двигателя.....  | 41 |
| 3.1. Векторы токов, напряжений и потокосцеплений трёхфазной машины ...   | 41 |
| 3.2. Потокосцепления трёхфазной машины .....   | 45 |
| Рисунок 15. Векторная диаграмма асинхронной машины.....  | 52 |
| 3.5. Короткозамкнутый асинхронный двигатель во вращающейся системе<br>координат .....                                  | 57 |
| 4. Параметры звеньев структурной схемы двигателя .....   | 59 |
| 5 Имитационная модель двухфазного двигателя.....   | 60 |
| 6 Модель электропривода с задатчиком интенсивности .....   | 64 |
| 7. Техническое описание и выбор устанавливаемого оборудования<br>преобразователя.....                                  | 68 |
| 7.1. Внешний вид, комплектация и технические характеристики<br>преобразователя ATV71HD37M3X.....                       | 68 |
| 7.2. Характеристики подключения.....   | 70 |
| 7.3. Характеристики коммуникационных портов.....   | 72 |
| 7.4. Дополнительное оборудование для преобразователя .....   | 74 |
| 7.4.1. Коммуникационные карты и карта контроллера.....   | 74 |
| 7.4.2. Диалоговые средства .....   | 75 |

|  |     |
|--|-----|
| 7.4.3. Программное обеспечение Power Suite.....  | 78  |
| 7.4.4. Выносной графический терминал .....   | 79  |
| 7.3.5. Дроссель постоянного тока .....   | 80  |
| 7.4.6. Сетевой дроссель.....   | 81  |
| 7.4.7. Тормозное сопротивление.....  | 82  |
| ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ» .....   | 83  |
| 8. Социальная ответственность .....  | 85  |
| 8.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. ....   | 85  |
| 8.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны)<br>правовые нормы трудового законодательства. .... | 85  |
| 8.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. ....   | 86  |
| 8.2. Производственная безопасность.....  | 86  |
| 8.2.1 Анализ вредных и опасных факторов. ....  | 87  |
| 8.3. Экологическая безопасность.....   | 93  |
| 8.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду. ....   | 93  |
| 8.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....  | 93  |
| 9 . Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.<br>99   |     |
| 9.1 SWOT-анализ электропривода механизма передвижения крана. ....  | 99  |
| 9.2 Организация работ технического проекта. ....   | 102 |
| 9.2.1 Определение структуры работ в рамках технического проектирования.<br>.....                                   | 102 |
| 9.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ. ....  | 104 |
| 9.2.3 разработка графика проведения технического проектирования.....   | 106 |
| 9.3 Составление сметы технического проекта. ....   | 108 |
| 9.3.1 Расчет материальных затрат технического проекта. ....  | 108 |
| 9.3.2 Полная заработная плата исполнителей. ....   | 109 |
| 9.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления). ....  | 111 |
| 9.3.4 Накладные расходы.....   | 111 |
| 9.4 Формирование сметы технического проекта .....  | 111 |
| 9.5 Определение ресурсоэффективности проекта. ....   | 112 |
| Заключение. ....   | 114 |
| THE CONCLUSION .....   | 117 |
| Перечень использованных источников.....  | 118 |



## **Введение**

Возрастающие технологические требования к качеству производственных процессов, необходимость использования высоких технологий обуславливают устойчивую тенденцию внедрения в различные отрасли промышленного производства современных регулируемых электроприводов.

В настоящее время самым распространённым двигателем промышленных электроприводов является трёхфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Он является в настоящее время самым простым, надёжным и дешёвым электроприводом в широком диапазоне частоты вращения и мощности.

Применение частотно-регулируемого асинхронного электропривода в механизмах подъёмно-транспортного оборудования является эффективным методом повышения технологичности производства.

Использование таких приводов позволяет:

1.Значительно, до 40% снизить энергопотребление крана, что особенно актуально при растущих тарифах на энергоносители.

2.Осуществить разгон и торможение двигателя плавно, по линейному закону от времени, при варьировании времени разгона и времени торможения от долей секунд до 50 минут.

3.Повысить комфортные показатели при движении крана и долговечность механического оборудования благодаря плавности переходных процессов.

4.Защитить двигатель от перегрузок по току, перегрева, утечек на землю и от обрывов в цепи питания двигателя.

5.Снизить эксплуатационные расходы на капитальный ремонт оборудования за счёт значительного снижения динамических нагрузок в элементах кинематической цепи.

6.Изменять скорости и ускорения движения механизмов крана применительно к конкретным технологическим задачам.

Эффективность и экономичность таких приводов в значительной степени зависит от правильности выбора номинальных параметров их основных элементов, т.е. двигателя и преобразователя частоты. Преобразователь ALTIVAR 71, применяемый для модернизации в данном крановом приводе, обладает всеми необходимыми функциями для управления крановыми приводами. Контроль состояния тормоза, позиционирование с помощью концевых выключателей, выравнивание нагрузки, управление тормозом, адаптированное для механизмов перемещения, управление моментом, измерение нагрузки – это далеко не полный перечень возможностей данного преобразователя.

Крановые электроприводы с этими преобразователями прошли проверку и испытание при работе не только в России, но также за рубежом, поэтому компания Schneider Electric, выпускающая данную приводную технику, получила положительные отзывы со стороны потребителей.

## 1. Техническое описание козлового крана ЛТ-62

В данном дипломном проекте проведена модернизация электропривода козлового крана ЛТ-62 для более надёжного и экономичного использования оборудования, которое позволяет более безопасно и эффективно осуществлять работу при пусковых и тормозных режимах для передвижения крана.

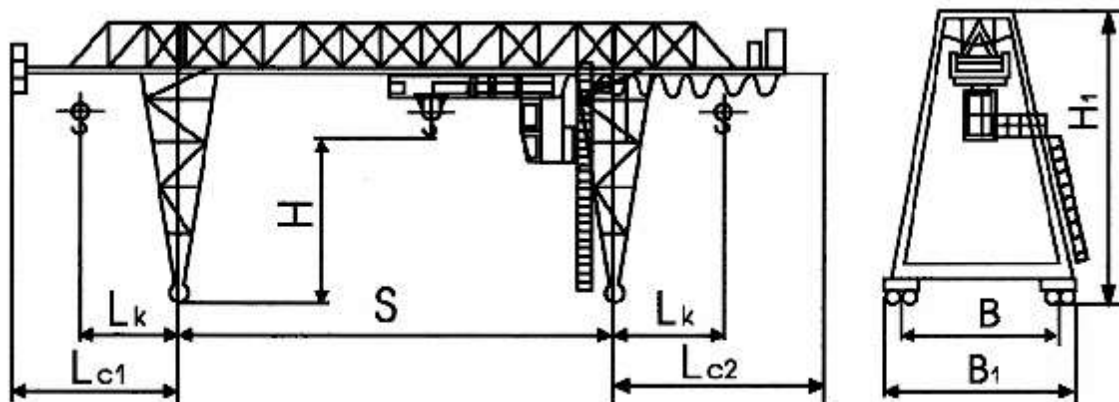


Рисунок 1. Общий вид козлового крана ЛТ-62

### 1.1. Устройство и работа составных частей перегрузчика

#### Механизм передвижения

Механизм передвижения с ведущими катками (рис.2) состоит из рамы 1, двух ходовых колёс 2 с зубчатыми венцами 3, опоры 4, промежуточной шестерни 5, противоугонного захвата 6 и привода.

С торцов рамы установлены щиты 7, предназначенные для очистки рельсов от посторонних предметов. С помощью винта 8 противоугонные захваты зажимают головку рельса, благодаря чему перегрузчик удерживается от перемещения.

Привод, состоящий из электродвигателя 9, муфты 10, тормоза 11, редуктора 12 и выносной опоры 13, смонтирован на отдельной раме и с помощью шестерни 14, зацепляется зубчатым венцом одного колеса. На одном из механизмов передвижения установлен конечный выключатель 15, ограничивающий движение перегрузчика по рельсовым путям. Колёса и

тормоз закрыты кожухами. С одной стороны механизма установлен упругий упор 16.

Катки ведомые отличаются от механизмов передвижения отсутствием привода, зубчатых венцов на колёсах и промежуточной шестерни. При работе двух и более перегрузчиков на одном рельсовом пути на ведомых катках должны быть установлены отключающие штанги.

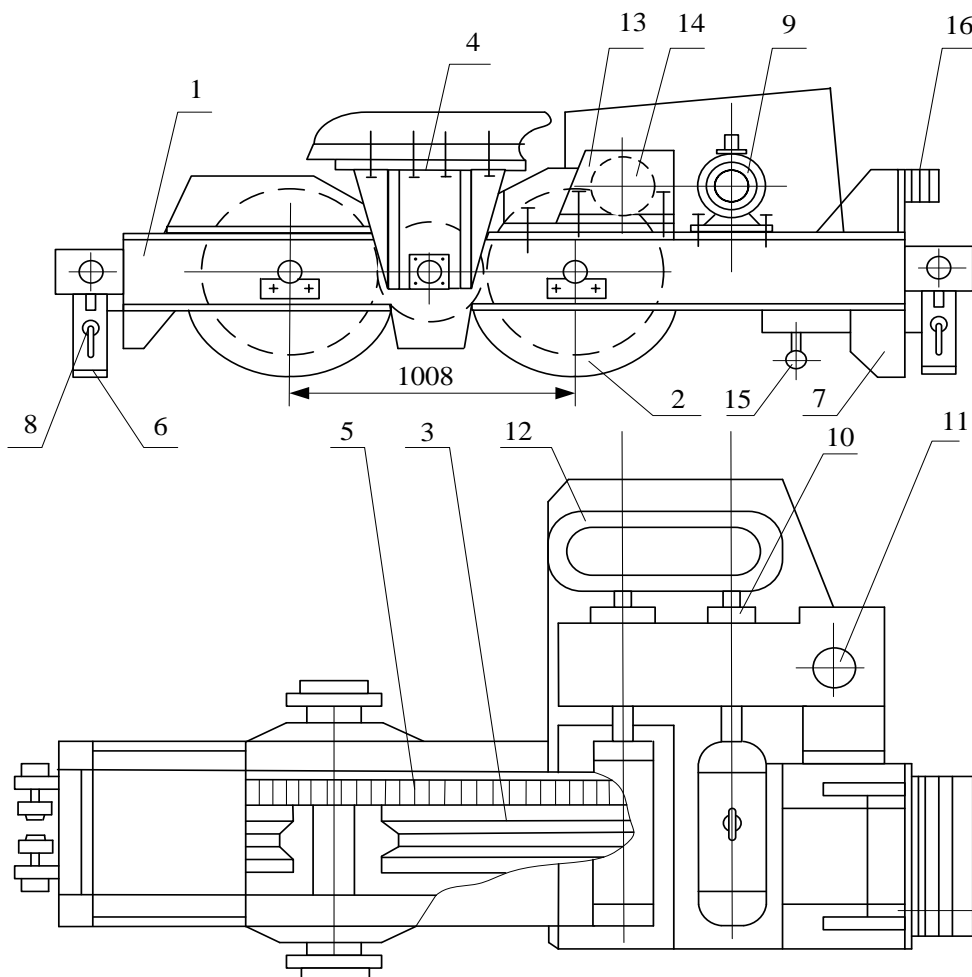


Рисунок 2. Кинематическая схема механизма передвижения

### Лебёдка тяговая

Лебёдка тяговая (для передвижения грузовой тележки) (рис.3) состоит из рамы 1, редуктора 2, тормоза 3, тормозной муфты 4, электродвигателя 5, барабана 6, подшипника 7. Тормоз закрыт кожухом 8. Канат тяговой лебёдки закреплён нижней ветвью на грузовой тележке, верхней опирается на роликовую опору, установленную на грузовой тележке.

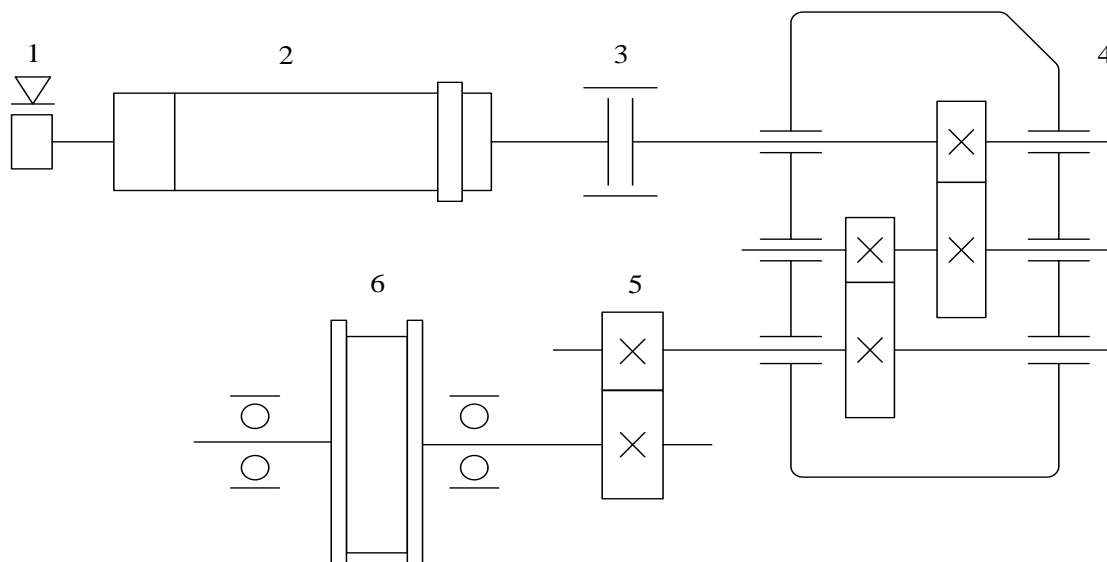


Рисунок 3. Лебёдка тяговая

### Лебёдка грузовая

На перегрузчике установлены две грузовых лебёдки (рисунок 4), работающие одновременно, с их помощью производится подъём траверсы с грейфером. Лебёдка грузовая состоит из рамы 1, редуктора 2, барабана 3, опоры барабана 4, тормоза 5, тормозной муфты 6, электродвигателя 7. Тормоз закрыт кожухом 8.

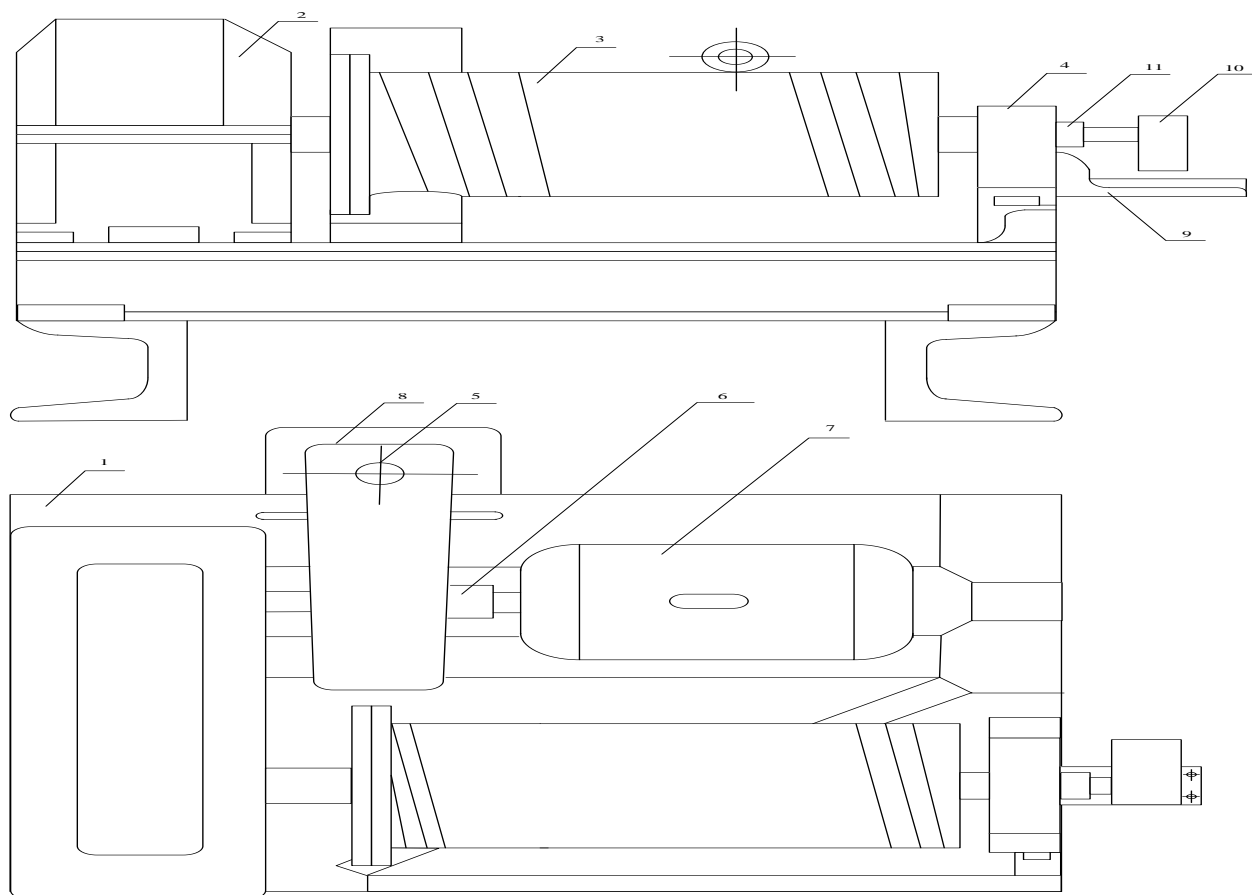


Рисунок 4. Лебёдка грузовая.

## **Кабина**

Металлический каркас кабины полностью остеклён небьющимся стеклом, обшит внутри теплоизоляционным материалом, древесно-волокнуистой плитой и пластиком. Кабина имеет распашную дверь, фонарь, с раздвижным окном. Кабина устанавливается на площадку верхней вставки жёсткой опоры перегружчика.

Кабина снабжена регулируемым по высоте и горизонтали поворотным сидением и электрическими тепловентиляторами. В кабине установлены контроллеры, которыми производится управление краном. Рычаги приводов контроллеров выведены на пульте управления. Нулевые положения контроллеров должны совпадать с нулевыми положениями табличек и рукояток управления. Рабочие перемещения рычагов должны совпадать с направлениями движения груза.

## **Тележка грузовая**

На верхней плоскости тележки установлены пять поддерживающих роликов, исключающих трение тягового и грузового канатов о раму тележки. Тяговый канат при помощи талрепов, закреплён на раме тележки. С торцов рамы тележки закреплены деревянные брусья, смягчающие удары тележки о тупиковые упоры ригеля; тележка имеет металлический настил, ограждения и ремонтные площадки. В раме тележки имеется гнездо для установки крана ручного консольно-поворотного. Для предохранения тележки грузовой от опрокидывания в процессе работы на раме устанавливаются четыре противоопрокидывающих захвата, по два с каждой стороны, которые находятся в зацеплении с рельсом.

## **Траверса**

Траверса (рисунок 5) состоит из балки 1, двух пар блоков 2 и специального устройства 3 для навешивания грейфера или крюковой подвески.

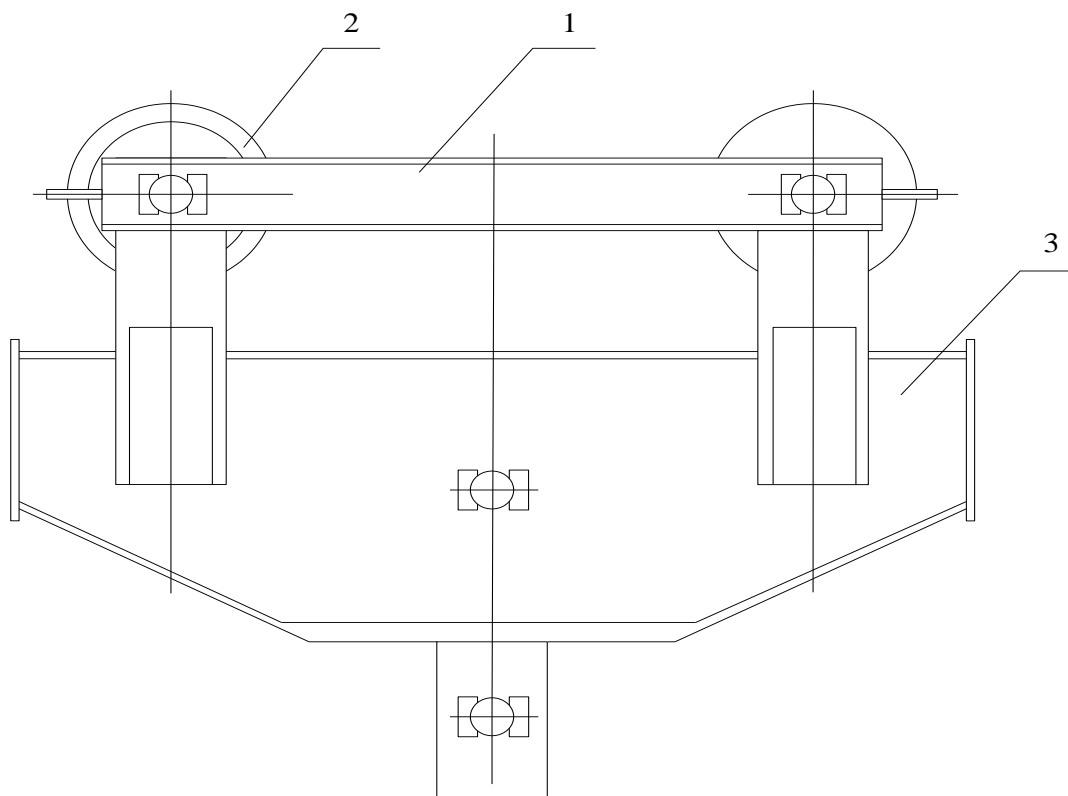


Рисунок 5. Траверса

Схема подвода электропитания к грейферу. Вдоль ригеля на крюках установлен канат, по которому на кольцах скользит гибкий кабель. На площадке грузовой тележки установлена стойка, на которой фиксируется кабель. За счёт собственного веса кабель свисает прямо в корзину, установленную на траверсу.

### Электрооборудование

Перегрузчик рассчитан для работы от электрической сети трёхфазного переменного тока, напряжением 380 вольт, частотой 50 герц. Цепь управления электроприводами перегрузчика выполнена также на переменном токе, напряжением 380 вольт, а цепь управления грейфером на 110 вольт. Цепь общего освещения выполнена на 220 вольт, а цепь освещения в кабине и на ригеле – 12 вольт, через трансформатор 380/110/12В.

Цепь для ремонтного освещения выполнена через тот же понижающий трансформатор, напряжением высокой стороны 380 вольт и вторичной обмотки на 12 вольт.

Для приводов механизма перегрузчика применяют крановые электродвигатели с фазным ротором, рассчитанные для работы в повторно-

кратковременном режиме. Обмотки электродвигателей для работы от трёхфазной сети напряжением 380 вольт соединены в звезду.

## 1.2. Технические данные

Основные параметры и характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные параметры и характеристики крана ЛТ-62

| Наименование показателей              | Норма          |
|---------------------------------------|----------------|
| Грузоподъёмность номинальная, т       | 32             |
| Наибольшая высота подъёма груза, м    | 11,8           |
| Скорость подъёма груза, м/мин         | $13,4 \pm 1,0$ |
| Скорость передвижения тележки         | $32,6 \pm 1,0$ |
| Скорость плавной посадки груза        | $12,0 \pm 1,0$ |
| Скорость передвижения перегрузчика    | $51,0 \pm 2,0$ |
| Установленная мощность, кВт, не более | 129            |
| Режим работы двигателей, ПВ %         | средний 25     |
| Длина пролёта, м:                     | 40 – 0,04      |
| Масса конструктивная, т               | 95,6           |

Технические данные канатов, установленных на перегрузчике, приведены в таблицу. 2.

Таблица 2 - Технические данные канатов, установленных на перегрузчике

| Наименование                             | Диаметр,<br>мм | Длина     |     | Обозначение                 |
|--|----------------|-----------|-----|-----------------------------|
|  |                | пролёт, м |     |                             |
|  |                | 32        | 40  |                             |
| Канат грузовой<br>(2 конца)              | 21,5           | 187       | 203 | 21,5-Г-В-Н-180 ГОСТ 3079-69 |
| Тяговой канат<br>передвижения<br>тележки | 15,0           | 102       | 126 | 15-Г-1-Н-170 ГОСТ 3081-69   |

*Технические данные лебёдки грузовой:*

– Тяговое усилие номинальное, Н – 3899



- Тяговое усилие максимальное, Н – 4506
- Диаметр каната, мм – 21,5
- Диаметр барабана, мм – 571,5
- Передаточное число редуктора У2У-400Н-25-22М – 25

*Технические данные механизма передвижения перегружчика:*

Передаточное число редуктора У2У-200-12,5-22 – 12,5

Передаточное число открытой зубчатой зубной пары – 2,82

Общее передаточное число – 35,4

Диаметр ходового колеса, мм – 600

### **1.3. Цель работы**

В настоящее время большинство крановых механизмов, также как данный кран ЛТ-62, снабжено асинхронными двигателями с фазным ротором. Процесс пуска осуществляется по характеристикам реостатного управления, когда из ротора дискретно выводятся ступени сопротивления. Торможение крана осуществляется за счёт использования режима противовключения двигателя. Частые переключения из двигательного в тормозной режим при подходе к заданной точке останова механизма перемещения крана приводят к возникновению максимальных ударных моментов двигателя, ускоренному выходу его из строя и снижению времени безаварийной работы. Режим пониженной скорости обеспечивается введением в ротор сопротивлений, что связано с возрастанием скольжения двигателя и увеличением электрических потерь. Отсюда следует, что применяемая система асинхронного электропривода не решает технологических задач и приводит к повышенному энергопотреблению. Использование частотно-регулируемого асинхронного электропривода с короткозамкнутым асинхронным двигателем позволяет существенно повысить надёжность работы подъёмного крана, увеличить период его безаварийной работы и уменьшить электропотребление.

Поэтому целью данной работы является выбор электропривода механизма передвижения крана, то есть выбор такого преобразователя частоты, который будет обеспечивать плавный пуск асинхронного двигателя, а значит, плавное изменение момента двигателя, потому что электропривод перемещения крана при пуске обладает большими маховыми массами и большим диапазоном регулирования по скорости по сравнению с другими приводами крана. Но прежде выбора преобразователя необходимо рассчитать мощность механизма и асинхронного короткозамкнутого двигателя, которым нужно заменить применяемый двигатель с фазным ротором.

## **2. Расчётная часть**

### **2.1. Расчёт двигателей перемещения крана**

Грузоподъёмные машины характеризуются степенью загрузки.

Коэффициент использования крана по грузоподъёмности:

$$K_{гр} = \frac{Q_{ср}}{Q_{ном}}, \quad K_{гр} = \frac{30000}{32000} = 0,94, \quad (2.1)$$

где  $Q_{ср} = 30000\text{кг}$  – среднее значение поднимаемого груза за смену, кг.

Кран имеет чётко выраженный циклический режим работы, поэтому для него характерна типовая циклограмма работы козлового крана (рисунок 6).

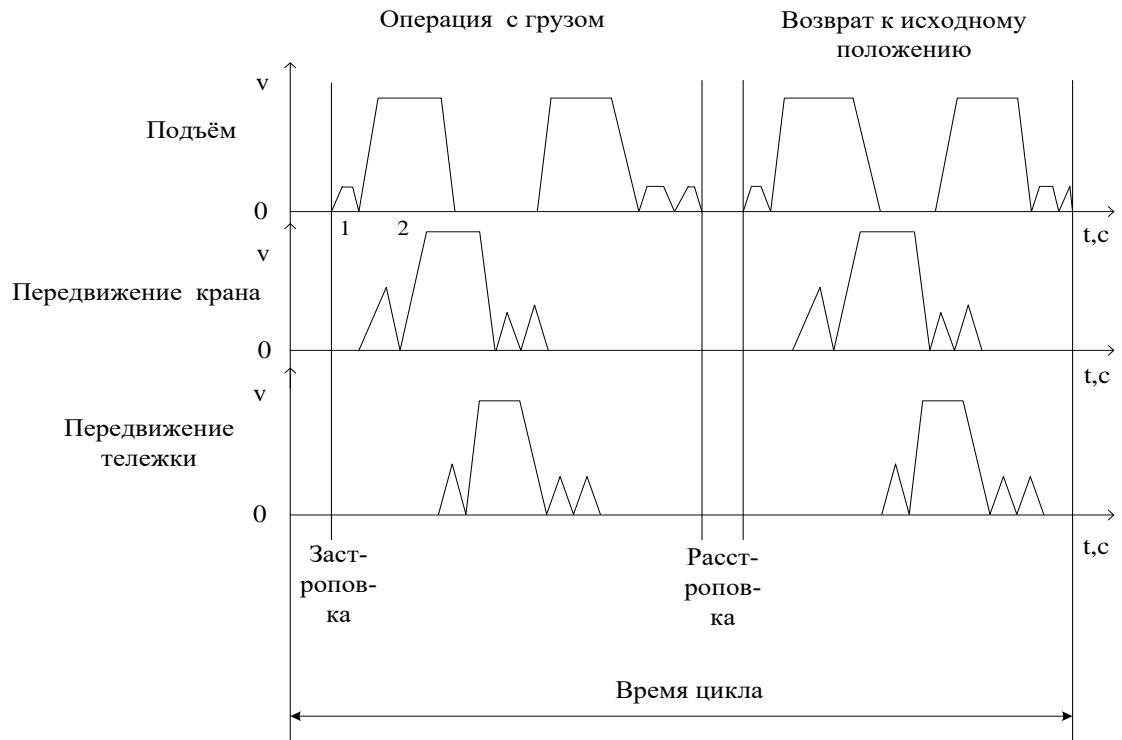


Рисунок 6. Типовая циклограмма работы крана

Данные для расчёта:

грузоподъёмность на крюке, кг:  $Q_1 = 32000 \text{ кг}$ ;

масса моста, кг:  $J_m = 88000 \text{ кг}$ ;

масса тележки с траверсой, кг:  $J_t = 3000 \text{ кг}$ ;

номинальная скорость передвижения перегрузчика, м/с:  $v_{\text{ном}} = 0,85 \text{ м/с}$  ;

КПД механизма передвижения:  $\eta = 0,85$ ;

диаметр цапфы(подшипников) ходового колеса:  $d = 0,15 \text{ м}$ ;

диаметр ходового колеса:  $D = 0,6 \text{ м}$ ;

передаточное отношение механизма:  $i = 35,4$ ;

передаточное отношение редуктора:  $i_p = 12,5$ ;

передаточное отношение открытой зубчатой зубной пары:  $i_{\text{зп}} = 2,82$ ;

коэффициент трения качения колеса:  $\mu = 0,5 \cdot 10^{-3}$ ;

коэффициент трения качения реборды колеса:  $k_p = 2$ ;

коэффициент формы ходового колеса:  $k_{\text{пб}} = 1,3$ ;

коэффициент трения в подшипнике:  $f = 0,015$ ;

коэффициент, учитывающий режим работы механизма, вид

управляющего устройства и электропривода, см. табл.4 в [1.с.28],  
для асинхронного односкоростного двигателя в системе частотного  
регулирования:  $k_T = 1,15$  (при лёгком режиме работы, 60 включений в  
час);

маховый момент ротора двигателя,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ :  $J_d = 0,538 \text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;

маховый момент тормозного шкива,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ :  $J_{sh} = 0,065 \text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;

маховый момент муфты,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ :  $J_{mf} = 0,7 \text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;

номинальная скорость вращения ротора, об/мин:  $n_{ном} = 945 \text{об/мин}$ ;

требуемое ускорение при пуске,  $\text{м/с}^2$ :  $a = 0,5 \text{м/с}^2$ ;

время разгона, с:  $t = 4 \text{с}$ ;

сервис-фактор (допустимая перегрузка двигателя при номинальном  
напряжении и частоте питающего напряжения) для электродвигателей  
принимается  $\lambda = 1$ ;

коэффициент запаса, с учётом влияния динамических нагрузок,  
принимается согласно ТЗ:  $k_z = 1,15$ ;

коэффициент влияния масс механизма:  $\delta = 1,1$ ;

коэффициент снижения момента от температуры окружающей среды,  
для температуры окружающей среды  $40^\circ \text{C}$ :  $f_t = 1$ ;

коэффициент снижения момента при высоте над уровнем моря выше  
1000м над уровнем моря:  $f_h = 1$ ;

коэффициент снижения момента при посадках напряжения питания;  
согласно ТЗ напряжение питания  $380 \pm 10\% \text{В}$ , так как максимальный момент  
уменьшается согласно квадрату напряжения, при его посадке на 10%  
значение коэффициента снижения момента будет  $f_U = 0,9^2 = 0,81$ ;

коэффициент снижения момента при скорости вращения ротора выше  
синхронной  $f_\omega = 1$ ;

число приводных колёс:  $n_{пр} = 2$ ;

общее число колёс:  $n = 4$ ;

число механизмов передвижения:  $n_K = 2$ ;

ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ :  $g = 9,81$ ;

масса редуктора, кг: 50кг;

масса ходового колеса, кг: 40кг

### 2.1.1. Расчёт предварительной мощности двигателя

Расчётная статическая мощность для козловых и любых кранов, работающих на открытом воздухе, кроме судовых или работающих в портах, с учётом ветровой нагрузки, определяется по формуле:

$$P_{\text{ст.г}} = \frac{v_{\text{ном}}}{10^3 \cdot \eta} \left[ (G + Q_1) \left( \frac{f \cdot d + 2\mu}{D} k_{\text{пб}} + \beta \right) + 160 (0,8\sqrt[3]{G} + 0,2\sqrt[3]{Q}) \right] \quad (2.2)$$

$$P_{\text{ст.г}} = \frac{0,85}{10^3 \cdot 0,85} \cdot \left[ (91000 + 32000) \left( \frac{0,015 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}}{0,6} 1,3 + 0,01 \right) + 160 (0,8\sqrt[3]{G} + 0,2\sqrt[3]{Q}) \right] = 8,9 \text{ кВт.}$$

Расчёт предварительной мощности производится по формуле:

$$P_c \geq \frac{P_{\text{ст.г}}}{k_T} = \frac{8,9}{1,1} = 8,1 \text{ кВт.} \quad (2.3)$$

### 2.1.2. Расчёт статического момента на валу двигателя

Для крановых механизмов типовая продолжительность включения принята ПВ% = 40%. Поэтому расчётные моменты будут относиться к стандартным ПВ в расчётах.

*Для расчёта принимаем следующие условия:*

- 1) два электропривода, по одному на каждой торцевой балке;

2) тележка с краю, (т.е. нагрузка на электропривод моста делится поровну, а нагрузка от тележки и груза полностью воздействует на один из приводов).

Статический момент на валу наиболее нагруженного двигателя равен:

$$M_{st} = \frac{k_p \left( \frac{J_m}{2} + J_t + Q_l \right) (f \cdot d + 2 \cdot \mu) \cdot g}{2 \cdot i \cdot \eta}; \quad (2.4)$$

$$M_{st} = \frac{2 \left( \frac{88000}{2} + 3000 + 32000 \right) (0,015 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}) \cdot 9,81}{2 \cdot 35,4 \cdot 0,85} = 83,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Статический минимальный момент на валу двигателя (без учёта груза):

$$M_{st.min} = \frac{k_p \left( \frac{J_m}{2} + J_t \right) (f \cdot d + 2 \cdot \mu) \cdot g}{2 \cdot i \cdot \eta}; \quad (2.5)$$

$$M_{st.min} = \frac{2 \left( \frac{88000}{2} + 3000 \right) (0,015 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}) \cdot 9,81}{2 \cdot 35,4 \cdot 0,85} = 49,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

### 2.1.3. Расчёт динамического момента на валу двигателя

Динамический момент на валу двигателя равен:

$$M_d = \frac{\delta \cdot (J_d + J_{sh} + J_{mf}) \cdot n_{ном} \cdot g}{375 \cdot t} + \frac{0,975 \cdot \left( \frac{J_m}{2} + Q_l \right) \cdot v_{ном}^2 \cdot g}{n_{ном} \cdot t \cdot \eta}; \quad (2.6)$$

$$M_d = \frac{1,1 \cdot (0,538 + 0,065 + 0,7) \cdot 945 \cdot 9,81}{375 \cdot 4} + \frac{0,975 \cdot (44000 + 32000) \cdot 0,85^2 \cdot 9,81}{945 \cdot 1,7 \cdot 0,85} =$$

$$= 172,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Динамический минимальный момент на валу двигателя (без груза):

$$M_{d.min} = \frac{\delta \cdot (J_d + J_{sh} + J_{mf}) \cdot n_{ном} \cdot g}{375 \cdot t} + \frac{0,975 \cdot \left( \frac{J_m}{2} \right) \cdot v_{ном}^2 \cdot g}{n_{ном} \cdot t \cdot \eta}; \quad (2.7)$$

$$M_{d.min} = \frac{1,1 \cdot (0,538 + 0,065 + 0,7) \cdot 945 \cdot 9,81}{375 \cdot 1,7} + \frac{0,975 \cdot 44000 \cdot 0,85^2 \cdot 9,81}{945 \cdot 1,7 \cdot 0,85} =$$

$$= 103,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

#### 2.1.4. Расчёт полного момента на валу двигателя

Максимальный момент на валу электродвигателя при пуске механизма будет равен:

$$M_{max} = \frac{M_{st} + M_d}{f_t \cdot f_h \cdot f_U \cdot f_\omega}; M_{max} = \frac{83,7 + 102,3}{1 \cdot 1 \cdot 0,81 \cdot 1} = 229,6 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.8)$$

Минимальный момент на валу электродвигателя при пуске механизма будет равен:

$$M_{min} = \frac{M_{st.min} + M_{d.min}}{f_t \cdot f_h \cdot f_U \cdot f_\omega} = \frac{103,5 + 49,8}{1 \cdot 1 \cdot 0,81 \cdot 1} = 189,2 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.9)$$

#### 2.2. Выбор двигателя

Двигатель выбирается по номинальному моменту по двум критериям. Первый критерий – номинальный момент двигателя должен быть больше статического расчётного момента приведённого к валу одного двигателя:

$$M_H > \frac{M_{st} \cdot k_Z}{n \cdot \lambda}, \text{ где } n - \text{количество двигателей}; \quad (2.10)$$

$$M_H > \frac{83,7 \cdot 1,15}{1 \cdot 1} = 96,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для электродвигателей принимаем кратность максимального момента по отношению к номинальному:

$$\lambda_{дв} = \frac{M_{max}}{M_H} = 3. \quad (2.11)$$

Тогда, согласно второму критерию номинальный момент одного двигателя должен быть не меньше момента:

$$M_{H.ДВ} > \frac{M_{\max}}{\lambda_{ДВ}}; M_{H.ДВ} > \frac{229,6}{3} = 76,5Н \cdot м. \quad (2.12)$$

Исходя из двух условий:  $M_{H.ДВ} > 76,5Н \cdot м$ .

Для данных условий подходят двигатель, приведённый в таблице 3.

Номинальный момент двигателя МТКФ (Н) 311-6 равен:

$$M_{H.ДВ} = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{30 \cdot P_H}{\pi \cdot n_H} = \frac{11000 \cdot 30}{3,14 \cdot 910} = 115,4Н \cdot м. \quad (2.13)$$

Значит,  $M_{H.ДВ} = 115,4Н \cdot м > 76,5Н \cdot м$ .

Технические характеристики двигателя МТКФ (Н) 311-6 приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Технические характеристики двигателя МТКФ (Н) 311-6

| f,<br>Гц                            | U <sub>H</sub> ,В | P <sub>H</sub> ,кВт,<br>S3-40% | КПД,<br>%               | cos φ | n <sub>НОМ</sub> ,<br>об/мин       | I <sub>IH</sub> ,А | Ì <sub>ĩ</sub> ,<br>Í·ì | M <sub>макс</sub> ,<br>Н·м | I <sub>II</sub> ,А |
|-------------------------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------------|-------|------------------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------|
| 50<br>Гц                            | 380В              | 11кВт                          | 77,5                    | 0,76  | 910об/мин                          | 28,5А              | 373<br>Н·м              | 383<br>Н·м                 | 130А               |
| J <sub>ДВ</sub> , кг·м <sup>2</sup> |                   | Масса<br>m, кг                 | Число пар<br>полюсов, p |       | Степень защиты<br>по ГОСТ 17516-72 |                    |                         |                            |                    |
| 0,213 кг·м <sup>2</sup>             |                   | 155кг                          | 3                       |       | IP44                               |                    |                         |                            |                    |

## 2.3. Проверка двигателя по техническим условиям

### 2.3.1. Проверка запаса сцепления колёс

Электропривод механизмов передвижения необходимо проверить по запасу сцепления при пуске и торможении для наиболее неблагоприятных условий работы. Запас сцепления должен удовлетворять условию:

$$K_{\varphi} = \frac{J_{pr} \cdot \varphi}{W_{пер}^{без груза} + J_{kr} \cdot \left( \frac{a}{g} - \frac{n_{pr}}{n} \cdot \mu \cdot \frac{d}{D} \right)} \geq 1,1, \quad (2.14)$$



$$\text{где } a = \frac{v_{\text{ном}}}{t} = \frac{0,85}{4} = 0,2 \text{ м/с}^2; \quad (2.15)$$

$J_{\text{пр}}$  – суммарное давление на приводные колёса при условии, что тележка находится посередине моста и без груза,

$J_{\text{кр}}$  – суммарное давление на колёса при условии, что тележка находится посередине моста и без груза,

$W_{\text{пер}}^{\text{без груза}}$  – сопротивление качения моста колёс без груза, определяется по формуле:

$$W_{\text{пер}}^{\text{без груза}} = k_p \cdot (J_t + J_m) \frac{\mu \cdot d}{D}; \quad (2.16)$$

$$W_{\text{пер}}^{\text{без груза}} = 2 \cdot (3000 + 88000) \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,15}{0,6} = 22,7 \text{ кг}.$$

Суммарное давление на приводные колёса равно:

$$J_{\text{пр}} = \frac{J_t + J_m}{2} \cdot \frac{n_{\text{пр}}}{n}; \quad J_{\text{пр}} = \frac{3000 + 88000}{2} \cdot \frac{2}{4} = 22750 \text{ кг}; \quad (2.17)$$

суммарное давление на колёса равно:

$$J_{\text{кр}} = \frac{J_t + J_m}{2}; \quad J_{\text{кр}} = \frac{3000 + 88000}{2} = 45500 \text{ кг}. \quad (2.18)$$

Запас сцепления равен:

$$K_{\varphi} = \frac{22750 \cdot 0,2}{22,7 + 45500 \left( \frac{0,2}{9,81} - \frac{2}{4} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,15}{0,6} \right)} = 4,8 > 1,1 - \quad (2.19)$$

следовательно, условие выполняется.

### **2.3.2. Проверка выбора электродвигателя по максимально допустимому ускорению**

Условия сцепления определяют верхний предел ускорений. Максимальные значения средних ускорений для открытого воздуха должны быть не больше:

$$a_{\text{макс}} = 0,85\alpha - 0,2, \quad (2.20)$$

где  $\alpha$  – отношение числа приводных колёс к общему числу колёс. Минимальное ускорение определяется максимально возможным временем пуска:

$$a_{\min} \geq \frac{v_{\text{ном}}}{t_{\text{макс}}}. \quad (2.21)$$

Проверка выполнения условий сцепления производится для реального ускорения выбранного двигателя:

$$a = \frac{1}{\alpha'} \left[ \frac{10^3 k_{\Pi} \gamma_{\Pi} \eta P_{\text{ном}} - P_{\text{ст.г}} \cdot \eta}{(J_m / 2 + J_t + Q_l) v_{\text{ном}}} \right], \quad (2.22)$$

$$\alpha' = \frac{J_{\Sigma}}{J_i} \quad (2.23)$$

где  $\alpha'$  – отношение суммарного момента инерции к моменту инерции поступательно движущихся масс;

$k_{\Pi}$  – коэффициент использования двигателя по пусковому моменту,

$\gamma_{\Pi}$  – кратность отношения максимального пускового момента к номинальному моменту двигателя, примем  $\gamma_{\Pi} = 3$ ;  $k_{\Pi} = 0,9$  при пуске двигателей от ТП постоянного или переменного тока, см. справочник по крановому электроприводу, [7.с.28].

Найдём радиус приведения для механизма:

$$\rho = \frac{D}{2 \cdot i} = \frac{0,6}{2 \cdot 35,4} = 0,008. \quad (2.24)$$

Суммарный момент инерции равен:

$$J_{\Sigma} = k_3 (Q_l + J_m + J_t) \rho^2, \quad (2.25)$$

$$J_{\Sigma} = 1,3(32000 + 88000 + 3000)0,008^2 = 10,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

где  $k_3$  – коэффициент запаса, принимается равным 1,3.

Момент инерции поступательно движущихся масс равен:

$$J_{\Pi} = 0,2J_{\text{дв}} + \frac{91(J_m + J_t + 0,7Q_l)v_{\text{ном}}^2}{n_K \cdot n_{\text{ном}}^2 \cdot \eta}; \quad (2.26)$$

$$J_{\Pi} = 0,2 \cdot 0,213 + \frac{91(88000 + 3000 + 0,7 \cdot 32000)0,85^2}{0,77 \cdot 2 \cdot 910^2} = 5,9 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

коэффициент  $\alpha'$  равен:

$$\alpha' = \frac{10,2}{5,9} = 1,7.$$

Требуемое ускорение по условиям сцепления с рельсами равно:

$$a = \frac{1}{1,7} \left[ \frac{10^3 (0,9 \cdot 3 \cdot 0,85 \cdot 11 - 8,1 \cdot 0,85)}{(32000 + 44000 + 3000) 0,85} \right] = 0,2 \text{ м/с}^2. \quad (2.27)$$

Тогда время пуска при данной скорости перемещения:

$$t_{\Pi} = \frac{v_{\text{ном}}}{a} = \frac{0,85}{0,2} = 4,2 \text{ с} > 4 \text{ с}. \quad (2.28)$$

Согласно рекомендуемым значениям посадочных и доводочных скоростей механизмов кранов различного назначения на основе практики многолетней эксплуатации, согласно табл. 1.4, см. [7.с.48], для козлового лесопогрузчика принимаем минимальную скорость передвижения крана:  $v_{\text{мин}} = 0,2 \text{ м/с}$ ; максимальную скорость передвижения крана принимаем согласно технических условий:  $v_{\text{макс}} = 0,85 \text{ м/с}$ .

### 2.3.3. Проверка электродвигателя по тепловому режиму

Для этого проведём расчёт увеличения потерь на регулировочных характеристиках систем параметрического регулирования, которое учитывается с помощью коэффициента:

$$k_p = 1 - 1,2(\varepsilon_{\text{р.р}} - \varepsilon_{\text{р.р.б}}), \quad k_p = 1 - 1,2(0,1 - 0,05) = 0,94; \quad (2.29)$$

где  $\varepsilon_{\text{р.р}}$  – продолжительность включения при регулировании, в зависимости от группы режимов работы механизма по ГОСТ 25835-83, для данного крана:  $\varepsilon_{\text{р.р}} = 0,1$  (режим работы 4М; ПВ = 40%); среднее число включений в час: ( $N_{\text{в.ср}} = 120$ ), см. табл. 6.4, [1.с.111];

$\varepsilon_{\text{р.р.б}}$  – базовая продолжительность включения при регулировании, принятая при расчёте зависимости  $\eta_{\text{э.кв.}}$  от числа включений, см. рис.6.5,

[1.с.112]. Примем при  $\eta_{\text{ЭКВ.б}} = 0,94$  для односкоростного асинхронного двигателя в системе частотного регулирования:  $\varepsilon_{\text{р.б}} = 0,05$ . Найдём эквивалентный КПД, характеризующий энергетические характеристики кранового электропривода:

$$\eta_{\text{ЭКВ.}} = \frac{\eta_{\text{ЭКВ.б}}}{1 + \frac{\eta_{\text{ЭКВ.б}} - \eta_{\text{ЭКВ.Н}}}{\eta_{\text{ЭКВ.Н}}} \cdot \frac{J_{\Sigma}}{1,2J_{\text{ДВ}}} \left( \frac{n_{\text{макс}}}{1000} \right)^2}, \quad (2.30)$$

где  $\eta_{\text{ЭКВ.Н}}$  – эквивалентный КПД, определяемый по графикам рис. 6.5, см. [1.с.112], при числе пусков  $N_{\text{в}}$ ; примем  $\eta_{\text{ЭКВ.Н}} = 0,78$  при  $N_{\text{в}} = 120$ ;  $n_{\text{макс}}$  – синхронная частота вращения двигателя,  $n_{\text{макс}} = 1000 \text{ об/мин}$ .

$$\eta_{\text{ЭКВ.}} = \frac{0,94}{1 + \frac{0,94 - 0,92}{0,92} \cdot \frac{10,2}{1,2 \cdot 0,213} \left( \frac{1000}{1000} \right)^2} = 0,5$$

Общая расчётная формула для выбора мощности двигателя по тепловому режиму:

$$P_{\text{НОМ.Т}} \geq \frac{k_3 k_{\text{ЭКВ}} k_{\text{Н}} \sqrt{\frac{\varepsilon_{\text{р}}}{\varepsilon_{\text{НОМ}}}}}{k_0 k_{\text{р}}} \cdot \frac{\eta_{\text{ЭКВ.б}}}{\eta_{\text{ЭКВ.б}} - k_{\text{д}} (\eta_{\text{ЭКВ.б}} - \eta_{\text{ЭКВ.}})} P_{\text{СТ.НОМ}}; \quad (2.31)$$

где  $P_{\text{СТ.НОМ}} = \frac{P_{\text{СТ.Г}}}{2} = \frac{8,9}{2} = 4,4 \text{ кВт}$ ,  $\varepsilon_{\text{р}} = 0,4$ , согласно табл. 6.4, см.

[1.с.111],

$$k_0 = 1,$$

$$P_{\text{НОМ.Т}} \geq \frac{1 \cdot 0,63 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{0,4}{0,4}}}{1 \cdot 0,94} \cdot \frac{0,94}{0,94 - 1(0,94 - 0,5)} \frac{8,8}{2} = 5,6 \text{ кВт}.$$

Двигатель удовлетворяет по теплу, так как  $P_{\text{Н}} > P_{\text{НОМ.Т}} = 5,6 \text{ кВт}$ .

## 2.4. Выбор преобразователя

Для двигателя существует уравнение равенства механической и электрической энергии:

$$M_{\max} \cdot \frac{\pi}{30} \cdot n_{\text{ном}} = \sqrt{3} \cdot I_{\max} \cdot U_{\text{H}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta, \quad (2.32)$$

где  $n_{\text{ном}}$  – номинальная частота вращения двигателя;

$U_{\text{H}}$  – номинальное напряжение сети;

$\cos\varphi$  – коэффициент мощности, находим по таблице технических характеристик.

Исходя из этого, максимальный потребляемый ток двигателя вычисляется по формуле:

$$I_{\max} = \frac{\pi \cdot M_{\max} \cdot n_{\text{ном}}}{30 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{H}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta}; \quad (2.33)$$

$$I_{\max} = \frac{3,14 \cdot 383 \cdot 910}{30 \cdot \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,76 \cdot 0,77} = 94,7 \text{ А.}$$

Поскольку  $I_{\max} = 150\% \cdot I_{\text{H}}$ , номинальный ток ПЧ должен быть не менее:

$$I_{\text{H}} = \frac{I_{\max}}{1,5} = \frac{94,7}{1,5} = 63 \text{ А.} \quad (2.34)$$

Так как в данном приводе используются два двигателя, управляемые одним преобразователем, тогда номинальный ток ПЧ для данного привода должен быть не менее:

$$I_{\text{H}} = 2 \cdot 63 = 126 \text{ А.}$$

По номинальному току  $I_{\text{H}}$  выбираем преобразователь частоты ATV71HD37M3X мощностью 37 кВт (на заводской табличке) для номинального режима работы, полная мощность 52,8 кВт · А, в количестве 1 шт. Номинальный ток преобразователя равен 144 А для номинальной частоты коммутации 4 кГц в продолжительном режиме. С учётом требования ТЗ мощность преобразователя должна превышать мощность двигателя на 20%. Тогда по формуле:

$$P_{\text{ПЧ}} \geq 1,2 \cdot P_{\text{H}} = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ кВт.} \quad (2.35)$$

Условие выполняется.

Проверочный расчёт из условия, что преобразователи обеспечивают перегрузочный пусковой момент 170% от номинального момента. Расчётный максимальный момент на валу двигателя МТКФ (Н) 311-6 равен:

$$M_{\text{дв.макс}} = 1,7 M_{\text{н}} \left( \frac{I_{\text{н.п}}}{I_{\text{н.дв}}} \right);$$

(2.36)

$$M_{\text{дв.макс}} = 1,7 \cdot 115,4 \left( \frac{144}{2 \cdot 28,5} \right) = 495,6 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где  $I_{\text{н.п}}$  – номинальный ток преобразователя частоты, А,

$I_{\text{н.дв.}}$  – номинальный ток двигателя, А;

$$M_{\text{дв.макс}} \geq M_{\text{мах}} = 229,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Окончательно выбираем преобразователь ATV71HD37M3X.

## 2.5. Расчет параметров и построение механических и электромеханических характеристик двигателя МТКФ (Н) 311-6

Расчёт параметров произведём с применением программы MATHCAD, так как в программе MATHCAD можно быстрее определить коэффициент  $\beta$ , набор программы представлен в приложении А.

### 2.5.1. Расчет параметров двигателя МТКФ (Н) 311-6

$P_{\text{н}} = 11 \text{ кВт}$  – номинальная мощность двигателя;

$U_{\text{лн}} = 380 \text{ В}$  – номинальное линейное напряжение;

$U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$  – фазное напряжение;

$n_0 = 1000 \text{ об/мин}$  – синхронная частота вращения;

$n_{\text{н}} = 910 \text{ об/мин}$  – номинальная частота вращения;

$\eta_n=0,775$  - КПД в режиме номинальной мощности (100 %-я нагрузка);

$\cos \phi_n=0,76$  – коэффициент мощности в режиме номинальной мощности;

$$k_i = \frac{I_n}{I_n} = 5,5 \text{ о.е.} - \text{кратность пускового тока};$$

$$k_n = \frac{M_n}{M_n} = 2,9 \text{ о.е.} - \text{кратность пускового момента};$$

$$k_{\max} = \frac{M_{\kappa}}{M_n} = 2,9 \text{ о.е.} - \text{кратность максимального момента};$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя найдём из выражения:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - (p_* \cdot I_{1n} \cdot (1 - s_n) / (1 - p_* \cdot s_n))^2}{1 - (p_* \cdot (1 - s_n) / (1 - p_* \cdot s_n))^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{22,075^2 - (0,76 \cdot 28,297 \cdot (1 - 0,09) / (1 - 0,76 \cdot 0,09))^2}{1 - (0,76 \cdot (1 - 0,09) / (1 - 0,76 \cdot 0,09))^2}} = 10,127 \text{ А}$$

(2.37)

где 
$$I_{1n} = \frac{P_n}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \phi_n \cdot \eta_n} = \frac{11000}{3 \cdot 220 \cdot 0,76 \cdot 0,775} = 28,297 \text{ А}$$
 –

номинальный ток статора двигателя;

$$s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = \frac{1000 - 910}{1000} = 0,09$$

о.е. - номинальное скольжение;

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_n}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \phi_{p*} \cdot \eta_{p*}} = \frac{0,74 \cdot 11000}{3 \cdot 220 \cdot 0,74 \cdot 0,775} = 22,075 \text{ А}$$

- ток статора двигателя при частичной загрузке;

$\cos \phi_{p*} = \cos \phi_n \cdot 0,986 = 0,74$  - коэффициент мощности при частичной загрузке;

$$\eta_{p*} = \eta_n = 0,775 - \text{КПД при частичной загрузке};$$

$$p_* = \frac{P}{P_n} = 0,75 - \text{коэффициент загрузки двигателя.}$$

Из формулы Клосса определим соотношение для расчёта критического скольжения:

$$s_k = s_n \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} =$$

$$= 0,09 \cdot \frac{2,9 + \sqrt{2,9^2 - (1 - 2 \cdot 0,09 \cdot 1 \cdot (2,9 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,09 \cdot 1 \cdot (2,9 - 1)} = 0,777 \text{ о.е} \quad (2.38)$$

Далее определяем ряд промежуточных коэффициентов:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{8,11}{2 \cdot 5,5 \cdot 10,127} = 1,033 ; \quad (2.39)$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_n)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_n} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,09)}{2 \cdot 1,033 \cdot 2,9 \cdot 11000} = 2,006 ; \quad (2.40)$$

$$A_0 = \frac{I_{1H} \cdot \cos \phi_n - I_0 \cos \phi_0}{U_{1\phi}} = \frac{28,297 \cdot 0,76 - 10,127 \cdot 0,139}{220} = 0,091 ; \quad (2.41)$$

где  $\cos \phi_0 = \cos 82^\circ = 0,139$  - коэффициент мощности асинхронного двигателя в режиме холостого хода;

$$B = \frac{1}{s_n} + \frac{1}{s_k} - A_0 \cdot 2 \cdot \frac{A_1}{s_n} = \frac{1}{0,09} + \frac{1}{0,777} - 0,091 \cdot 2 \cdot \frac{2,006}{0,09} = 8,341 ; \quad (2.42)$$

$$C = \frac{1}{s_n \cdot s_k} - \left( \frac{1}{s_k^2} + \frac{1}{s_n^2} \right) \cdot A_0 \cdot A_1 = \frac{1}{0,09 \cdot 0,777} - \left( \frac{1}{0,777^2} + \frac{1}{0,09^2} \right) \times$$

$$\times 0,091 \cdot 2,006 = -8,5 \quad (2.43)$$

Теперь по найденным значениям проверяем величину коэффициента  $\beta$ :

$$\beta_p = \left| \frac{-B}{2} + \sqrt{\frac{B}{2} - C} \right| = \left| \frac{-8,341}{2} + \sqrt{\frac{8,341}{2} - (-8,5)} \right| = 0,61 . \quad (2.44)$$

Активное сопротивление ротора, приведённое к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{A_1}{(\beta + \frac{1}{s_k}) \cdot C_1} = \frac{2,006}{\left( 1 + \frac{1}{0,777} \right) \cdot 1,033} = 0,85 \text{ Ом} \quad (2.45)$$

Активное сопротивление статорной обмотки определим по следующему выражению:



$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,033 \cdot 0,85 \cdot 1 = 0,877 \text{ Ом} \quad (2.46)$$

Определим параметр  $\gamma$ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания  $X_{\text{кн}}$ ,

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_k^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,777^2} - 1^2} = 0,809, \quad (2.47)$$

$$\text{Тогда } X_{\text{кн}} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 0,809 \cdot 1,033 \cdot 0,85 = 0,71 \text{ Ом}$$

Для того чтобы выделить из индуктивного сопротивления  $X_{\text{кн}}$ , сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, воспользуемся соотношениями, которые справедливы для серийных асинхронных двигателей.

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведённое к статорной, может быть рассчитано:

$$X_{2н}' = \frac{0,58 \cdot X_{\text{кн}}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 0,71}{1,033} = 0,399 \text{ Ом}. \quad (2.48)$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки определим по следующему выражению:

$$X_{1н} = 0,42 \cdot X_{\text{кн}} = 0,42 \cdot 0,71 = 0,298 \text{ Ом}. \quad (2.49)$$

ЭДС ветви намагничивания, наведённая потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна:

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1\phi} \cdot \cos \phi_n - R_1 \cdot I_{1н})^2 + (U_{1н} \cdot \sin \phi_n + X_{1н} \cdot I_{1н})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,76 - 0,877 \cdot 28,297)^2 + (220 \cdot 0,65 + 0,298 \cdot 28,297)^2} = 195,892 \text{ В} \end{aligned} \quad (2.50)$$

тогда индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_{\mu н} = \frac{E_m}{I_0} = \frac{195,892}{10,127} = 19,344 \text{ Ом}. \quad (2.51)$$

## 2.5.2. Механические характеристики асинхронного двигателя

Для построения механической характеристики двигателя при его работе определим критический момент машины в двигательном режиме:

$$M_k = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot C_1 \cdot \left[ R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2} \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 104,72 \cdot 1,033 \cdot \left[ 0,877 + \sqrt{0,877^2 + 0,71^2} \right]} = 345,7 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.52)$$

$$\text{где } \omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{p} = 104,72, \text{ об/мин}$$

Задаваясь диапазоном изменения скорости от 0 до  $\omega$  с шагом 0,1, строим механическую характеристику асинхронного электродвигателя по формуле:

$$M(\omega) = \frac{3 \cdot U_{1H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot \left[ \left( R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + X_{кн}^2 \right]} \quad (2.53)$$

Механическая характеристика, при работе двигателя изображена на рисунке 7.

По построенной механической характеристике проведём анализ основных данных, а также сравним их с паспортными.

Момент номинальный:

$$M_{н(паспорт)} = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{11000}{86,718} = 126,847 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.54)$$

то же значение, но по формуле Клосса:

$$M_n = \frac{2 \cdot M_k \cdot (1 + a \cdot s_k)}{\frac{s_k}{s_n} + \frac{s_n}{s_k} + 2 \cdot a \cdot s_k} = \frac{2 \cdot 345,7 \cdot (1 + 1,032 \cdot 0,777)}{\frac{0,777}{0,09} + \frac{0,09}{0,777} + 1,604} = 120,37 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\text{где коэффициент } a \text{ равен: } a = \frac{R_1}{R_2'} = \frac{0,877}{0,85} = 1,032.$$

Момент критический:

$$M_k = k_{\max} \cdot M_{n(\text{паспорт})} = 2,9 \cdot 126,847 = 367,85 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.55)$$

Пусковой момент:

$$M_n = k_n \cdot M_{n(\text{паспорт})} = 2,9 \cdot 126,847 = 367,85 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.56)$$

то же значение, но по формуле Клосса:

$$M_n = \frac{2 \cdot M_k \cdot (1 + a \cdot s_k)}{\frac{s_k}{s_n} + \frac{s_n}{s_k} + 2 \cdot a \cdot s_k} = \frac{2 \cdot 345,7 \cdot (1 + 1,032 \cdot 0,777)}{\frac{0,777}{1} + \frac{1}{0,777} + 1,604} = 339,64 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

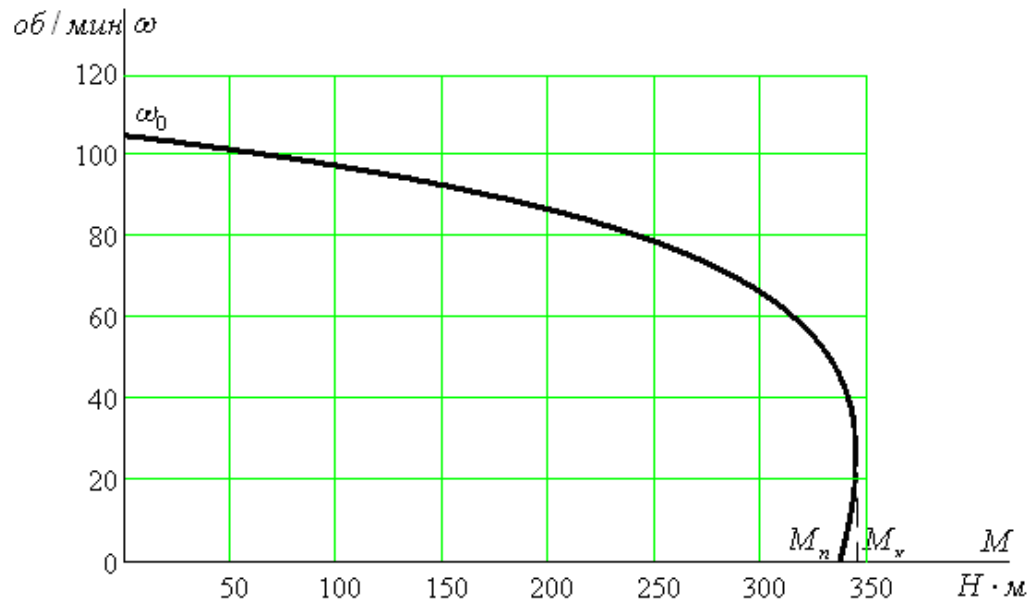


Рисунок 7. Механические характеристики асинхронного двигателя

$$M = f(\omega)$$

Из полученных данных следует, что построенная механическая характеристика соответствует паспортным данным.

### 2.5.3. Электромеханические характеристики асинхронного двигателя

Для короткозамкнутого асинхронного двигателя представляет интерес электромеханическая характеристика  $I_1 = f(\omega)$ , отражающая зависимость тока статора от скорости.

Полагая ток намагничивания асинхронного двигателя  $I_0$  реактивным ( $I_{0A}=0$ ), ток статора  $I_1$  через приведённый ток ротора  $I_2'$  можно найти по формуле:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + (I_2')^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \phi_2}, \quad (2.57)$$

$$\text{где } I_2' = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left( R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + X_{\kappa\kappa}^2}}, \quad (2.58)$$

$$\sin \phi_2 = \frac{X_{\kappa\kappa}}{\sqrt{\left( R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + X_{\kappa\kappa}^2}}. \quad (2.59)$$

Для построения электромеханических характеристик подставим численные значения в формулы 2.57 – 2.59.

$$I_1(\omega) = \sqrt{10,127^2 + (I_2'(\omega))^2 + 2 \cdot 10,127 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \phi_2(\omega)},$$

$$I_2'(\omega) = \frac{220}{\sqrt{\left( 0,877 + \frac{0,85}{\frac{104,72 - \omega}{104,72}} \right)^2 + 0,504^2}},$$

$$\sin \phi_2(\omega) = \frac{0,504}{\sqrt{\left( 0,877 + \frac{0,85}{\frac{104,72 - \omega}{104,72}} \right)^2 + 0,504^2}}.$$

Задаваясь диапазоном изменения скорости от 0 до  $\omega$  с шагом 0,1, строим электромеханическую характеристику асинхронного электродвигателя по

формулам для токов обмоток статора и ротора. Электромеханические характеристики двигателя представлены на рисунке 8.

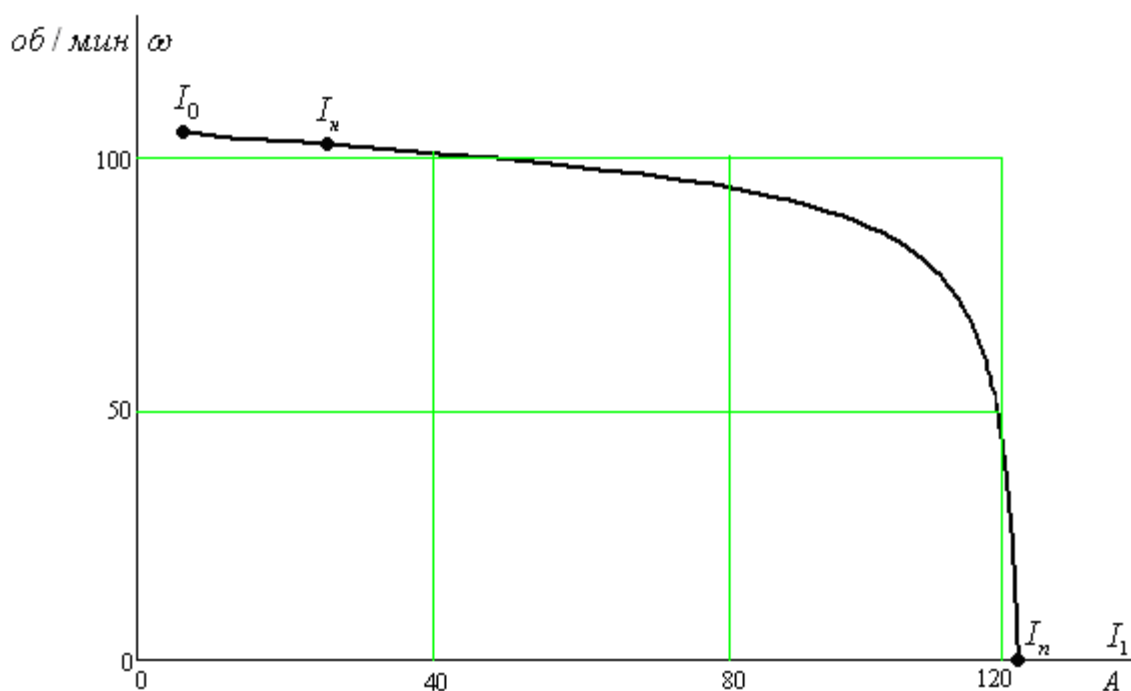


Рисунок 8. Электромеханическая характеристика двигателя  $I_1 = f(\omega)$ .

Можно сделать вывод, что построенная электромеханическая характеристика, также как и механическая справедлива.

## 2.6 Статические характеристики скалярного управления регулируемым электроприводом

Регулирование скорости электропривода с помощью закона  $U_{1\phi} / f_1 = \text{const}$

В электроприводах со скалярным управлением для регулирования или стабилизации скорости используются различные соотношения между частотой и напряжением. Выбор конкретного соотношения зависит от характера момента нагрузки.

Для двигателя типа МТКФ (Н) 311-6 управляемого от преобразователя частоты ATV71HD37M3X, по паспортным данным, параметрам схемы замещения рассчитаем и построим электромеханические и механические

характеристики при питании его от статического преобразователя частоты по закону управления:

$$U_{1\phi} / f_1 = const, \text{ для частот питания } f_1 = 50; 25; 10. \quad Гц.$$

Определим значения относительных частот, напряжений и синхронных скоростей:

$$f_{1*} = \frac{f_{1j}}{f_{1H}} = \frac{\{50; 25; 10\}}{50} = \{1; 0,5; 0,2\} \quad o.e.; \quad (2.60)$$

$$U_{1j} = U_{1\phi} \cdot f_{1*} = 220 \cdot \{1; 0,5; 0,2\} = \{220; 110; 44\} \quad В; \quad (2.61)$$

$$\omega_{0j} = \omega_{0H} \cdot f_{1*} = 104,72 \cdot \{1; 0,5; 0,2\} = \{104,72; 52,36; 20,94\} \quad рад / с; \quad (2.62)$$

Расчёт электромеханических характеристик будем производить, подставляя в следующие выражения соответствующие для каждой характеристики значения  $f_{1*}, U_{1j}, \omega_{0j}$ . Далее, задаваясь диапазоном значений от нуля до соответствующего для каждой характеристики значения  $\omega_{0j} \cdot 1,25$  с шагом  $0,001 \cdot \omega_{0j}$ , подставляем в выражение для относительного скольжения. На следующем этапе получившиеся значения относительного скольжения последовательно подставляем в выражение для тока обмотки ротора и статора.

$$\begin{aligned} I_{2j}(S) &= \frac{U_{1j}}{\sqrt{X_{kH}^2 \cdot f_{1H}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2}{S}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{S \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}}\right)^2}} = \\ &= \frac{U_{1j}}{\sqrt{1,531^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(0,171 + \frac{0,168}{S}\right)^2 + \left(\frac{0,171 \cdot 0,168}{S \cdot 27,944 \cdot f_{1*}}\right)^2}}; \end{aligned} \quad (2.63)$$

$$\begin{aligned} I_{1j}(S) &= \sqrt{I_0^2 + I_{2j}^2(S) + 2 \cdot I_0 \cdot I_{2j}(S) \frac{X_{kH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{S}\right)^2 + X_{kH}^2}}} = \\ &= \sqrt{8,11^2 + I_{2j}^2(S) + 2 \cdot 8,11 \cdot I_{2j}(S) \frac{1,531}{\sqrt{\left(0,171 + \frac{0,168}{S}\right)^2 + 1,531^2}}} \end{aligned} \quad (2.64)$$

Построенные характеристики для данного закона управления двигателем изображены на рисунке 9.

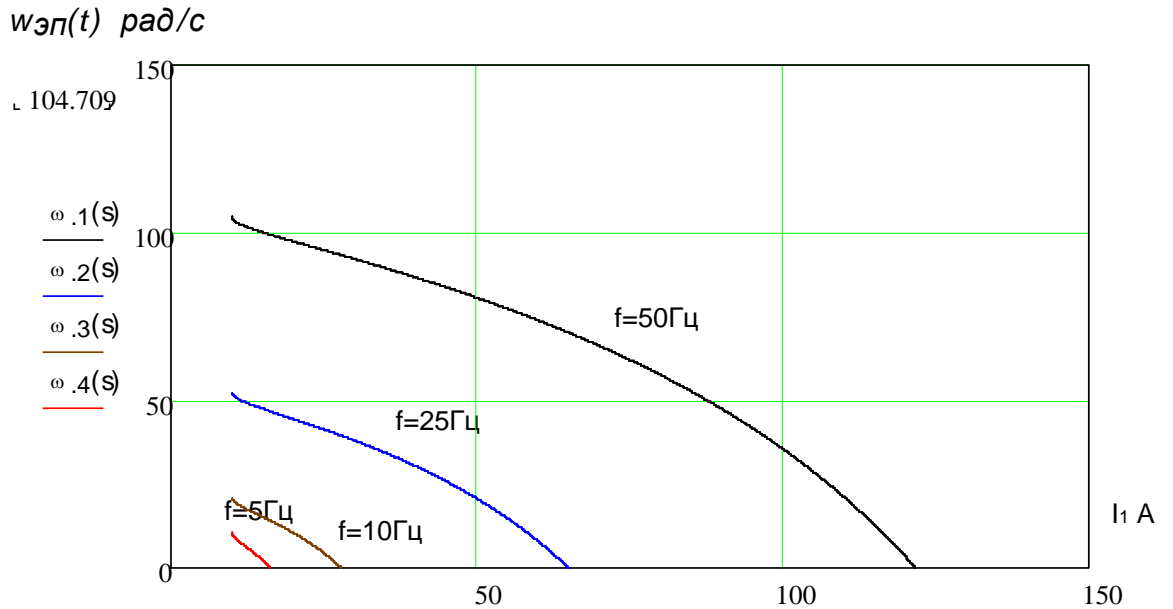


Рисунок 9. Электромеханические характеристики двигателя при законе регулирования скорости  $U_{1\phi} / f_1 = const$

Для построения механических характеристик асинхронной машины для закона управления  $U_{1\phi} / f_1 = const$ , воспользуемся следующим выражением:

$$M(S) = \frac{3 \cdot U_{1j} \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot S_j \left[ X_{кн}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{S_j} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{S_j \cdot X_{\mu n} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot U_{1j} \cdot 0.149}{\omega_{0j} \cdot S_j \left[ 1,531^2 \cdot f_{1*}^2 + \left( 0,171 + \frac{0,168}{S_j} \right)^2 + \left( \frac{0,171 \cdot 0,168}{S_j \cdot 27,944 \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]} ; \quad (2.65)$$

Механические характеристики двигателя для закона управления  $U_{1\phi} / f_1 = const$ , представлены на рисунке 10.

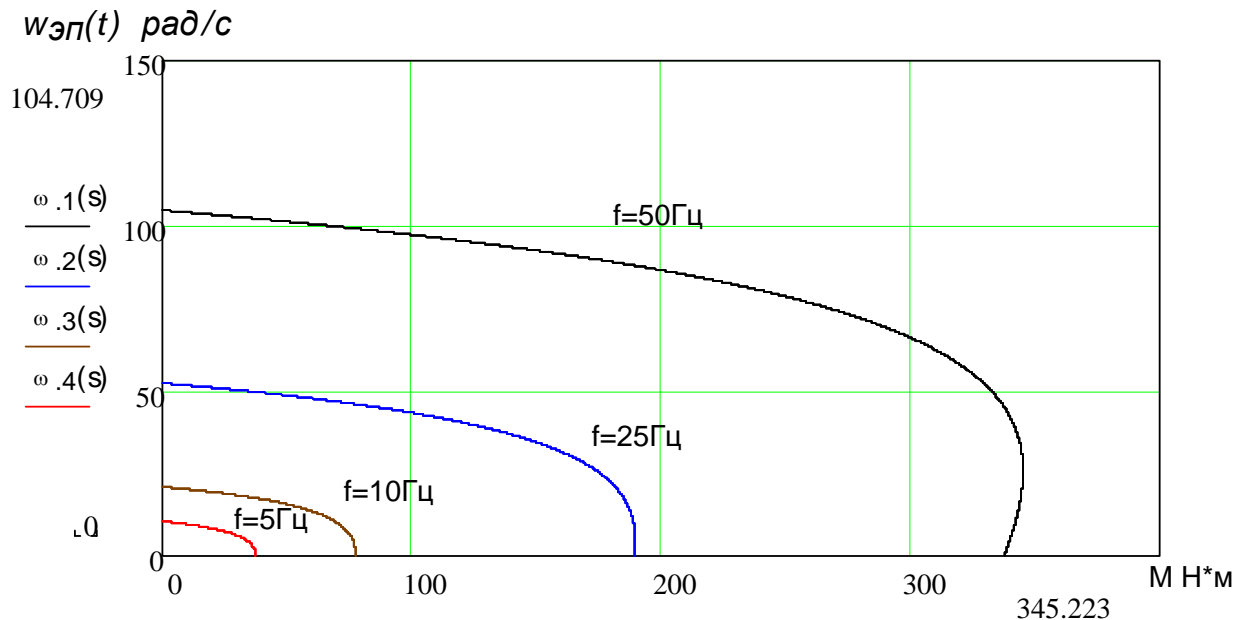


Рисунок 10. Механические характеристики двигателя при законе регулирования скорости  $U_{1\phi} / f_1 = const$

Электромеханические и механические характеристики двигателя МТКФ (Н) 311-6, для закона регулирования  $U_{1\phi} / f_1 = const$ , построены в математической системе MathCad.

## 2.7. Расчёт и выбор тормозного резистора для моста передвижения

Средняя тормозная мощность моста определяется по формуле:

$$P_f = \frac{(Q_1 + J_t + J_m / 2) v^2}{2 \cdot t}; \quad (2.66)$$

$$P_f = \frac{(32000 + 3000 + 88000 / 2) 0,85^2}{2 \cdot 4} = 7,1 \text{ кВт}$$

Требуемая тормозная мощность равна:

$$P_{fr} = \frac{P_f \cdot (\eta \cdot \eta_{fc} \cdot \eta_{dv})}{n_{пч}}, \quad P_{fr} = \frac{7,1 \cdot (0,85 \cdot 0,98 \cdot 0,76)}{1} = 4,5 \text{ кВт} \quad (2.67)$$

где  $n_{пч}$  – количество преобразователей в приводе;

$\eta_{fc}$  – КПД преобразователя частоты;



$\eta_{dv}$  – КПД двигателя;

$\eta$  – КПД механизма.

Постоянная мощность резистора с учётом работы механизма:

$$P_r = \frac{P_{fr} \cdot t}{t_c}, \quad P_r = \frac{4,5 \cdot 4}{30} = 0,6 \text{ кВт.} \quad (2.68)$$

где  $t$  – время торможения,  $t_c$  – время цикла, за основу взяли режим передвижения крана, 4с – разгон, 22с – постоянная скорость, 4с – торможение.

Максимальная мощность торможения равна:

$$P_{fr\max} = 2 \cdot P_r = 2 \cdot 4,5 = 9 \text{ кВт.} \quad (2.69)$$

Постоянная мощность резистора, рассчитываемая с учётом цикла работы механизма:

$$R_{\max} = \frac{U_{dc}^2}{P_{fr\max}} = \frac{774^2}{9000} = 66,5 \text{ Ом.} \quad (2.70)$$

Необходим резистор с сопротивлением в диапазоне 8,1-66,5 Ом с постоянной мощностью 9кВт при условии что рассеет 4,5кВт в течении 4с. Выбираем резистор типа VW 3 A7 805 с параметрами: Сопротивление, Ом – 8,1 Ом;

Средняя мощность, кВт – 44кВт;

Рассеиваемая мощность за 10с – 10кВт.

### **3. Модель асинхронного двигателя**

#### **3.1. Векторы токов, напряжений и потокосцеплений трёхфазной машины**

Математическое описание процессов электромеханического преобразования энергии наиболее удобно получить в синхронных осях  $x$ ,  $y$ , при этом, синусоидально изменяющиеся реальные переменные машины преобразуются в постоянные величины, характеризующие проекции изображающего вектора на синхронно с ним вращающиеся координатные оси  $x$ ,  $y$ .

При выводе уравнений, описывающих поведение асинхронной машины, сделаны следующие общепринятые допущения:

- 1) считается, что машина симметричная с идеальными обмотками, обеспечивающими синусоидальное распределение магнитодвижущей силы и магнитного потока вдоль воздушного зазора, который принимается одинаковым по окружности ротора;
- 2) не учитывается влияние насыщения магнитной цепи, что позволяет принять значения индуктивностей постоянными;
- 3) не учитываются потери энергии в стали ротора;
- 4) предполагается, что отсутствуют напряжения и токи нулевой последовательности, т.е. мгновенные значения напряжений и токов фаз:

$$u_A + u_B + u_C = 0; \quad i_A + i_B + i_C = 0. \quad (3.1)$$

При этом не накладывается никаких ограничений на их гармонический состав.

В симметричной машине с идеальными обмотками при питании их симметричными напряжениями с угловой частотой  $\omega$  токами обмоток создается вращающееся магнитное поле той же частоты с постоянной амплитудой намагничивающей силы. Эту вращающуюся намагничивающую силу можно представить вращающимся пространственным вектором, который определяется мгновенными значениями фазных токов  $i_A; i_B; i_C$ :

$$\left. \begin{aligned} \vec{I} &= \frac{2}{3} (i_A + \vec{c} \cdot i_B + \vec{c}^2 \cdot i_C); \\ \vec{c} &= e^{j\frac{2\pi}{3}} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}; \quad \vec{c}^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Направление оси обмотки А принимается за положительное направление вещественной оси а неподвижной системы координат с осями  $a, jb$ , рисунок 6. Проекции вектора  $\vec{I}$  на оси обмоток определяют как мгновенные значения фазных токов, так и векторы  $i_A, \vec{c} \cdot i_B, \vec{c}^2 \cdot i_C$ , сумма которых равна вектору  $\frac{3}{2}\vec{I}$ .



Векторы токов можно разложить по осям системы координат  $a, jb$  (рисунок 7).

С учетом (3.3):

$$\left. \begin{aligned} \vec{I} &= i_a + ji_b; \\ i_a = \operatorname{Re} \vec{I} &= i_A; \quad i_b = \operatorname{Im} \vec{I} = \frac{2}{3} \left( \frac{\sqrt{3}}{2} i_B - \frac{\sqrt{3}}{2} i_C \right) = \frac{i_B - i_C}{\sqrt{3}}. \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

$$i_A = i_a; \quad i_B = -\frac{i_a}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} i_b; \quad i_C = -\frac{i_a}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} i_b. \quad (3.6)$$

Такое описание токов говорит о том, что трехфазную электрическую машину можно заменить эквивалентной двухфазной с обмотками  $a$  и  $b$ , располагающимися вдоль координатных осей  $a, jb$ .

Иногда бывает удобным рассматривать процессы не в неподвижной системе координат  $a, jb$ , а в системе с осями  $x, jy$ , вращающейся со скоростью  $\omega_{\hat{E}\hat{N}}$ . Положение вектора тока в любой системе координат (в том числе и неподвижной при  $\omega_{\hat{E}\hat{N}} = 0$ ) можно охарактеризовать углом между вектором тока  $\vec{I}$  и вещественной осью соответствующей системы координат так, что

$$\vec{I}_0 = \vec{I} e^{j\varphi}; \quad \vec{I}_\omega = \vec{I} e^{j\delta} = \vec{I} e^{j(\varphi - \theta)} = \vec{I}_0 e^{-j\theta}; \quad \vec{I}_0 = \vec{I}_\omega e^{j\theta}, \quad (3.7)$$

где  $\vec{I}_0, \vec{I}_\omega$  - векторы токов в неподвижной и вращающейся системах координат;  $\theta$  - угол между осями координат;  $\omega_{KC} = \frac{d\theta}{dt}$ .

При исследовании процессов в асинхронных машинах в большинстве случаев применяют неподвижную систему координат ( $\omega_{\hat{E}\hat{N}} = 0$ ) и систему координат, вращающуюся синхронно с магнитным полем ( $\omega_{\hat{E}\hat{N}} = \omega$ ).

Аналогичными векторами можно описать также напряжения и потокосцепления трехфазной машины:

$$\begin{aligned} \vec{U} &= \frac{2}{3} (u_A + \vec{c} \cdot u_B + \vec{c}^2 \cdot u_C) = u_a + ju_b; \\ \vec{\Psi} &= \frac{2}{3} (\psi_A + \vec{c} \cdot \psi_B + \vec{c}^2 \cdot \psi_C) = \psi_a + j\psi_b. \end{aligned} \quad (3.8)$$

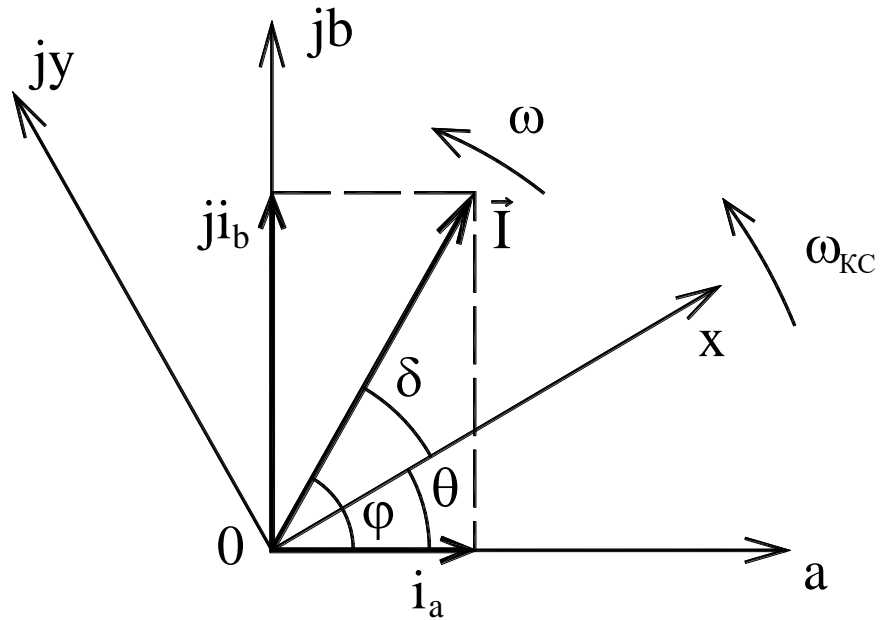


Рисунок 12. Представление вектора  $\vec{I}$  в неподвижной и вращающейся системах координат

### 3.2. Потокосцепления трёхфазной машины

Если пренебречь влиянием насыщения магнитной цепи, то магнитные потоки, сцепленные с обмотками машины, будут пропорциональны соответствующим намагничивающим силам и токам, создающим эти НС. Потокосцепления обмоток статора, создаваемые токами статора, образуются за счет основного потока в воздушном зазоре машины и потоков рассеяния этих обмоток. Индуктивность обмотки статора, обусловленную основным потоком, обозначим  $L_0$ , потоком рассеяния статора –  $L_{l\sigma}$ , взаимоиндуктивности между обмотками –  $M$ . Так как обмотки одинаковы и расположены симметрично в пространстве, то эти индуктивности и взаимоиндуктивности одинаковы для всех обмоток. Тогда мгновенные потокосцепления обмоток статора, создаваемые токами статора, опишутся в неподвижной системе координат с учетом (3.1) соотношениями:

$$\left. \begin{aligned} \psi_{11A0} &= i_{1A}(L_{l\sigma} + L_0) + i_{1B} \cdot \dot{I} + i_{1N} \cdot \dot{I} = i_{1A}(L_{l\sigma} + L_0 - \dot{I}) \\ \psi_{11B0} &= i_{1A} \cdot \dot{I} + i_{1B}(L_{l\sigma} + L_0) + i_{1N} \cdot \dot{I} = i_{1B}(L_{l\sigma} + L_0 - \dot{I}); \\ \psi_{11C0} &= i_{1A} \cdot \dot{I} + i_{1B} \cdot \dot{I} + i_{1N}(L_{l\sigma} + L_0) = i_{1N}(L_{l\sigma} + L_0 - \dot{I})_{1.} \end{aligned} \right\}$$

Поскольку угол между осями обмоток равен  $2\pi/3$ , то:

$$M = L_0 \cos \frac{2\pi}{3} = -\frac{1}{2} L_0$$

Тогда:

$$\left. \begin{aligned} \psi_{1A0} &= i_{1A} \left( L_{1\sigma} + \frac{3}{2} L_0 \right) = i_{1A} (L_{1\sigma} + L_m) = i_{1A} L_1; \\ \psi_{1B0} &= i_{1B} \left( L_{1\sigma} + \frac{3}{2} L_0 \right) = i_{1B} (L_{1\sigma} + L_m) = i_{1B} L_1; \\ \psi_{1C0} &= i_{1C} \left( L_{1\sigma} + \frac{3}{2} L_0 \right) = i_{1C} (L_{1\sigma} + L_m) = i_{1C} L_1, \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

где  $L_m = \frac{3}{2} L_0$  - результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре машины (главным полем), создаваемым суммарным действием токов статора;  $L_1 = L_{1\sigma} + L_m$  - эквивалентная индуктивность обмотки статора, равная сумме индуктивности рассеяния этой обмотки и индуктивности от главного поля.

Вектор потокосцепления статора, создаваемый токами статора, согласно (3.8):

$$\begin{aligned} \vec{\Psi}_{110} &= \frac{2}{3} (\psi_{1A} + \vec{c} \cdot \psi_{1B} + \vec{c}^2 \cdot \psi_{1C}) = \frac{2}{3} (i_{1A} + \vec{c} \cdot i_{1B} + \vec{c}^2 \cdot i_{1C}) L_{1\sigma 1} \\ &= \vec{I}_{10} \cdot L_1, \end{aligned} \quad (3.10)$$

где  $\vec{I}_{10}$  - вектор тока статора в неподвижной системе координат.

Аналогичным образом можно получить, что потокосцепление ротора, создаваемое токами ротора, описанное во вращающейся системе координат, жестко связанной с ротором ( $\omega_{\hat{E}\hat{N}} = \omega_r$ ):

$$\vec{\Psi}_{22\omega} = \vec{I}_{2\omega} \cdot L_2, \quad L_2 = L_{2\sigma} + L_m, \quad (3.11)$$

где  $\vec{I}_{2\omega}$  - вектор тока ротора представлен в той же системе координат,  $L_2$  - эквивалентная индуктивность обмотки ротора. При этом предполагается, что число витков статора и ротора одинаково, т.е. в рассмотрение вводится приведенный ток ротора.

Каждая обмотка ротора создает в воздушном зазоре потокосцепление  $L_0$ , где  $i_2$  – мгновенное значение тока соответствующей фазы. Поэтому результирующие мгновенные потокосцепления обмоток статора, обусловленные совместным действием токов статора и ротора при угле между осями обмоток, равном  $\theta$  (рисунок 13):

$$\psi_{1A0} = L_1 i_{1A} + L_0 i_{2A} \cos(\theta) + L_0 i_{2B} \cos\left(\frac{2\pi}{3} + \theta\right) + L_0 i_{2C} \cos\left(\frac{2\pi}{3} - \theta\right);$$

$$\psi_{1B0} = L_1 i_{1B} + L_0 i_{2A} \cos\left(\frac{2\pi}{3} - \theta\right) + L_0 i_{2B} \cos(\theta) + L_0 i_{2C} \cos\left(\frac{2\pi}{3} + \theta\right);$$

$$\psi_{1C0} = L_1 i_{1C} + L_0 i_{2A} \cos\left(\frac{2\pi}{3} + \theta\right) + L_0 i_{2B} \cos\left(\frac{2\pi}{3} - \theta\right) + L_0 i_{2C} \cos(\theta).$$

Умножив первое соотношение на  $2/3$ , второе – на  $\frac{2}{3} \bar{c} = \frac{2}{3} e^{j\frac{2\pi}{3}}$ , третье – на  $\frac{2}{3} \bar{c}^2 = \frac{2}{3} e^{-j\frac{2\pi}{3}}$ , сложив их и произведя преобразования, получим:

$$\vec{\Psi}_{10} = L_1 \vec{I}_{10} + \frac{2}{3} L_0 A (i_{2A} + i_{2B} e^{j\frac{2\pi}{3}} + i_{2C} e^{-j\frac{2\pi}{3}}) = L_1 \vec{I}_{10} + L_0 A \vec{I}_{2\omega},$$

где  $\vec{\Psi}_{10}, \vec{I}_{10}$  – векторы результирующего потокосцепления статора и тока статора, описанные в неподвижной системе координат;  $\vec{I}_{2\omega}$  – вектор тока ротора, описанный в системе координат, жестко связанной с ротором,

$$\begin{aligned} A &= \cos(\theta) + \cos\left(\frac{2\pi}{3} - \theta\right) e^{j\frac{2\pi}{3}} + \cos\left(\frac{2\pi}{3} + \theta\right) e^{-j\frac{2\pi}{3}} \\ &= \frac{3}{2} (\cos(\theta) + j \sin(\theta)) = \frac{3}{2} e^{j\theta}. \end{aligned}$$

С учетом того, что  $\frac{3}{2} L_0 = L_m$ , имеем:

$$L_0 A = L_m e^{j\theta}, \quad \vec{\Psi}_{10} = L_1 \vec{I}_{10} + L_m \vec{I}_{2\omega} e^{j\theta}.$$

Описывая вектор  $\vec{I}_2$  в неподвижной системе координат согласно (3.7), получаем:

$$\vec{\Psi}_{10} = L_1 \vec{I}_{10} + L_m \vec{I}_{20}; \quad L_1 = L_m + L_{1\sigma}. \quad (3.12)$$

Производя идентичные действия для ротора, можно найти вектор результирующего потокосцепления ротора в неподвижной системе координат:

$$\vec{\Psi}_{20} = L_m \vec{I}_{10} + L_2 \vec{I}_{20}; \quad L_2 = L_m + L_{2\sigma}, \quad (3.13)$$

где векторы токов описываются также в неподвижной системе координат.

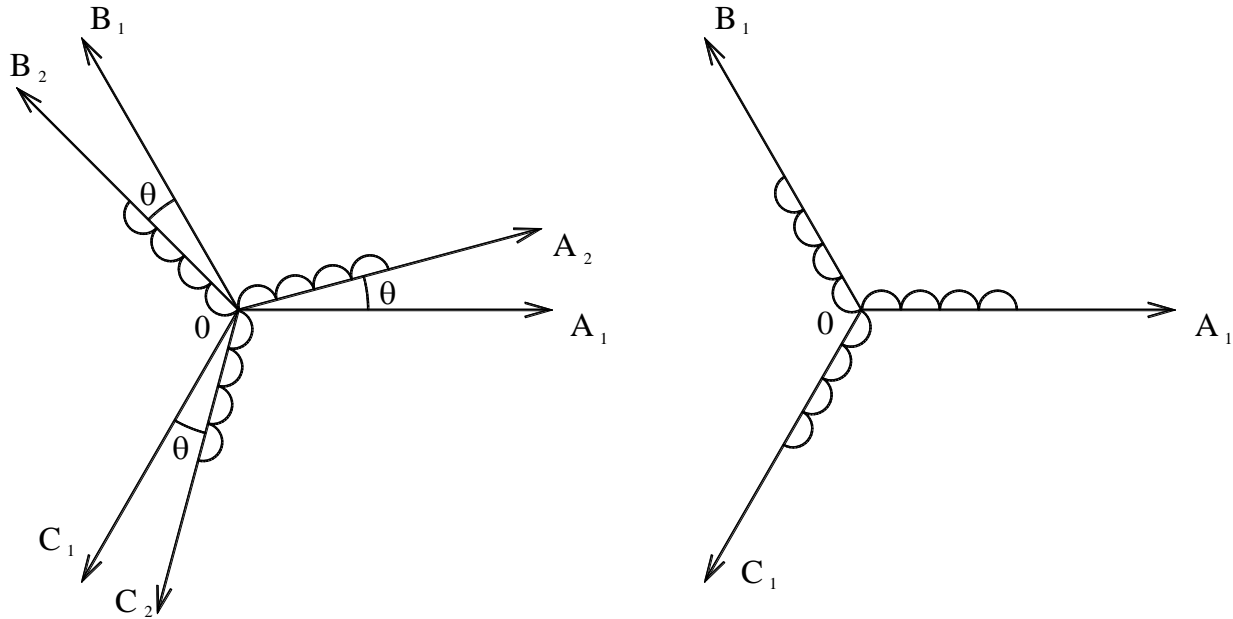


Рисунок 13. Определение потокосцепления трехфазной машины

Соотношения (3.12), (3.13) для потокосцеплений остаются справедливыми в общем случае системы координат, вращающейся с любой произвольной скоростью  $\omega_{КС}$ , если векторы токов описываются также в этой системе координат.

Ранее было установлено, что трехфазную машину можно заменить эквивалентной двухфазной с обмотками  $a$  и  $b$ . Уравнения напряжений обмоток, выраженные через составляющие по осям неподвижной системы координат  $a, jb$ , совпадающими с осями этих обмоток:

$$u_{1a0} = r_1 \cdot i_{1a0} + \frac{d\psi_{1a0}}{dt}; \quad u_{1b0} = r_1 \cdot i_{1b0} + \frac{d\psi_{1b0}}{dt}. \quad (3.14)$$

В векторной форме:

$$\vec{U}_{10} = \vec{I}_{10} \cdot r_1 + \frac{d\vec{\Psi}_{10}}{dt}. \quad (3.15)$$

Аналогично вектор напряжения ротора в системе координат, жестко связанной с ротором и вращающейся в пространстве с угловой электрической скоростью ротора  $\omega_r$ ,



$$\vec{U}_{2\omega} = \vec{I}_{2\omega} \cdot r_2 + \frac{d\vec{\Psi}_{2\omega}}{dt}.$$

Если в этом соотношении векторы  $\vec{I}_2$  и  $\vec{\Psi}_2$  описать в неподвижной системе координат, используя (3.7),

$$\begin{aligned} \vec{U}_{2\omega} &= \vec{U}_{20} \cdot e^{-j\theta}; \quad \vec{I}_{2\omega} = \vec{I}_{20} \cdot e^{-j\theta}; \quad \vec{\Psi}_{2\omega} = \vec{\Psi}_{20} \cdot e^{-j\theta}; \\ \frac{d\vec{\Psi}_{2\omega}}{dt} &= \left( \frac{d\vec{\Psi}_{20}}{dt} - j \frac{d\theta}{dt} \vec{\Psi}_{20} \right) \cdot e^{-j\theta}, \end{aligned}$$

то после сокращения общего сомножителя  $e^{-j\theta}$  имеем:

$$\vec{U}_{20} = \vec{I}_{20} \cdot r_2 + \frac{d\vec{\Psi}_{20}}{dt} - j\omega_r \cdot \vec{\Psi}_{20}, = \quad (3.16)$$

так как  $\frac{d\theta}{dt} = \omega_r$ .

Если все векторы описать в системе координат, вращающейся со скоростью  $\omega_{KC}$ , при этом, отбрасывая для упрощения записи у векторов индексы « $\omega$ », указывающие на вращение системы координат, и учитывая, что  $\frac{d\theta}{dt} = \omega_r$ , получаем:

$$\begin{aligned} \vec{U}_1 &= \vec{I}_1 \cdot r_1 + \frac{d\vec{\Psi}_1}{dt} + j\omega_{\hat{E}\hat{N}} \cdot \vec{\Psi}_1; \\ \vec{U}_2 &= \vec{I}_2 \cdot r_2 + \frac{d\vec{\Psi}_2}{dt} + j(\omega_{\hat{E}\hat{N}} - \omega_r) \vec{\Psi}_2. \end{aligned} \quad (3.17)$$

Выражая векторы через составляющие по осям  $x, y$  вращающейся системы координат, т.е. выделяя их вещественную и мнимую части, имеем:

$$\begin{aligned} u_{1x} &= r_1 \cdot i_{1x} + \frac{d\psi_{1x}}{dt} - \omega_{\hat{E}\hat{N}} \cdot \psi_{1y}; \\ u_{1y} &= r_1 \cdot i_{1y} + \frac{d\psi_{1y}}{dt} + \omega_{\hat{E}\hat{N}} \cdot \psi_{1x}; \\ u_{2x} &= r_2 \cdot i_{2x} + \frac{d\psi_{2x}}{dt} - (\omega_{\hat{E}\hat{N}} - \omega_r) \cdot \psi_{2y}; \\ u_{2y} &= r_2 \cdot i_{2y} + \frac{d\psi_{2y}}{dt} + (\omega_{\hat{E}\hat{N}} - \omega_r) \cdot \psi_{2x}. \end{aligned} \quad (3.18)$$

Выражая потокосцепления через токи согласно (3.12.) и (3.13), из (3.17) получаем:

$$\begin{aligned}\vec{U}_1 &= r_1 \cdot \vec{I}_1 + \frac{d}{dt}(L_1 \cdot \vec{I}_1 + L_m \cdot \vec{I}_2) + j\omega_{\hat{e}\hat{N}}(L_1 \cdot \vec{I}_1 + L_m \cdot \vec{I}_2); \\ \vec{U}_2 &= r_2 \cdot \vec{I}_2 + \frac{d}{dt}(L_m \cdot \vec{I}_1 + L_2 \cdot \vec{I}_2) + j(\omega_{\hat{e}\hat{N}} - \omega_r) \cdot (L_m \cdot \vec{I}_1 + L_2 \cdot \vec{I}_2).\end{aligned}$$

(3.19)

В этих уравнениях, как и в уравнениях (3.17), векторы можно разложить на составляющие по осям  $x$  и  $jy$  системы координат, вращающейся со скоростью  $\omega_{\hat{e}\hat{N}}$ . При  $\omega_{\hat{e}\hat{N}} = 0$  оси  $x$  и  $jy$  становятся осями  $a, jb$  неподвижной системы координат.

Электромагнитный момент в воздушном зазоре:

$$M = \frac{3}{2} \cdot \delta \cdot (\psi_{1x} \cdot i_{1y} - \psi_{1y} \cdot i_{1x}) = \frac{3}{2} \cdot \delta \cdot \text{Im}[(i_{1x} + ji_{1y}) \cdot (\psi_{1x} - j\psi_{1y})].$$

(3.20)

Это соотношение можно записать в виде произведения векторов  $\vec{\Psi}_1$  и  $\vec{I}_1$  :

$$\vec{M} = \frac{3}{2} \cdot \delta \cdot [\vec{\Psi}_1 \times \vec{I}_1] = \frac{3}{2} \cdot \delta \cdot |\vec{\Psi}_1| \cdot |\vec{I}_1| \cdot \sin(\varphi), \quad (3.21)$$

где  $\varphi$  – угол между векторами  $\vec{\Psi}_1$  и  $\vec{I}_1$ , т.к. векторное произведение можно представить в виде определителя, выраженного через составляющие векторов и единичные орты пространственной системы координат:

$$\vec{M} = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \psi_{1x} & \psi_{1y} & 0 \\ i_{1x} & i_{1y} & 0 \end{vmatrix} = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \vec{k} \cdot (\psi_{1x} \cdot i_{1y} - \psi_{1y} \cdot i_{1x}), \quad (3.22)$$

т.е. приходим к ранее полученному результату (3.20). Вектор момента направлен вдоль орта  $\vec{k}$  (вдоль оси вала двигателя).

Так как

$$\psi_{1x} = L_1 \cdot i_{1x} + L_m \cdot i_{2x}; \quad \psi_{1y} = L_1 \cdot i_{1y} + L_m \cdot i_{2y},$$

то из (3.22) найдем:

$$M = \frac{3}{2} \cdot p \cdot L_m \cdot (i_{1y} \cdot i_{2x} - i_{1x} \cdot i_{2y}) = \frac{3}{2} \cdot p \cdot L_m \cdot \text{Im}[\vec{I}_1 \cdot \vec{I}_2]. \quad (3.23)$$

Электромеханические процессы описываются уравнением движения двигателя:

$$M - M_c = J_{\Sigma} \frac{d\omega_r}{p \cdot dt}, \quad (3.24)$$

где  $\frac{\omega_r}{p} = \omega_{\dot{a}}$  - частота вращения вала двигателя;  $J_{\Sigma}$  - суммарный момент инерции привода;  $M_c$  - момент сопротивления.

### 3.3. Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным

Для расчёта электромеханических и механических характеристик асинхронного двигателя необходимо воспользоваться его математической моделью, которая в общем случае представляется различными схемами замещения. Наиболее простой и удобной для инженерных расчётов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, рисунок 14.

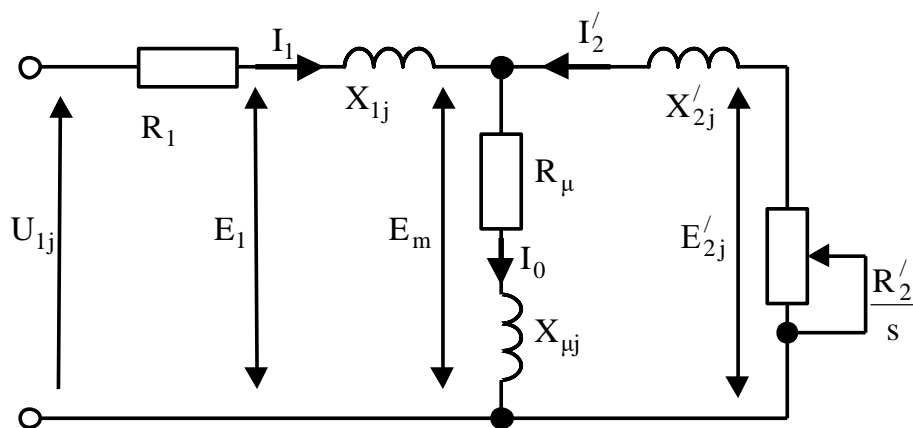


Рисунок 14. Схема замещения асинхронного двигателя

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие принятой схеме замещения:

$$\begin{aligned} U_{1\phi} - \bar{E}_m - j \cdot X_1 \cdot \bar{I}_1 - R_1 \cdot \bar{I}_1 &= 0 \\ \bar{E}_m + j \cdot & \end{aligned} \quad (3.25)$$

Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений, удовлетворяющая уравнениям (4.1), изображена на рисунке 15.

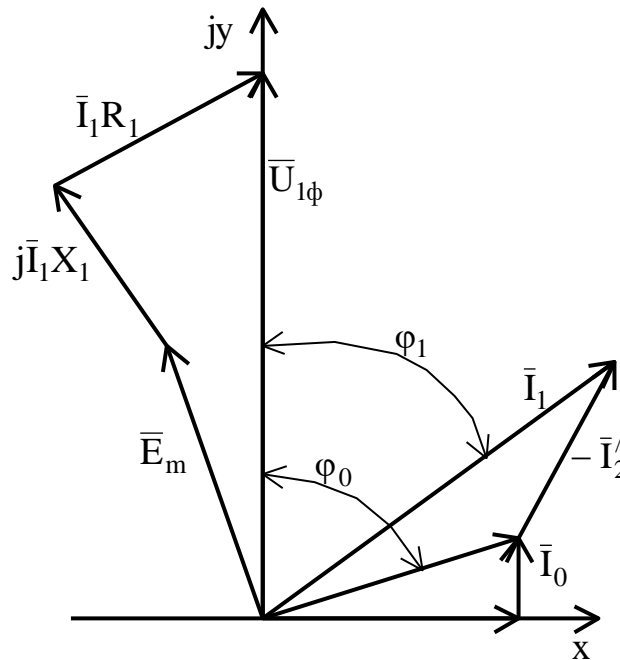


Рисунок 15. Векторная диаграмма асинхронной машины

Для определения параметров Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя необходимы следующие технические данные (которые как правило приводятся в каталогах на асинхронные двигатели):

$P_i$  – номинальная мощность двигателя, кВт;

$U_{1i}$  – номинальное линейное напряжение, В;

$n_i$  – номинальная частота вращения, об/мин или

$s_i$  – номинальное скольжение, о.е.;

$\eta_i$  – КПД в режиме номинальной мощности (100 %-я нагрузка), %;

$\cos \phi_i$  – коэффициент мощности в режиме номинальной мощности, о.е.;

$k_i = \frac{I_i}{I_i}$  – кратность пускового тока, о.е.;

$k_i = \frac{\dot{I}}{\dot{I}_i}$  – кратность пускового момента, о.е.;

$k_{\max} = \frac{M_{\hat{e}}}{M_i}$  – кратность максимального момента, о.е.;

$$k_{\min} = \frac{M_{\min}}{M_i} - \text{кратность минимального момента, о.е.};$$

Эти данные позволяют определить параметры схемы замещения при следующих основных допущениях:

- магнитные и механические потери в двигателе составляют  $0,02 D_i$ ;
- активные сопротивления статорной и роторной обмоток полагаются не зависящими от режима работы двигателя, т.е. эффекты вытеснения не учитываются.

Ток холостого хода асинхронного двигателя можно найти из выражения:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - (p_* \cdot I_{1i} \cdot (1 - s_i) / (1 - p_* \cdot s_i))^2}{1 - (p_* \cdot (1 - s_i) / (1 - p_* \cdot s_i))^2}}, \quad (3.26)$$

где  $I_{1i} = \frac{P_i}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \phi_i \cdot \eta_i}$  – номинальный ток статора двигателя;

$s_i = \frac{n_0 - n_i}{n_0}$  – номинальное скольжение;

$n_0$  – синхронная частота вращения;

$U_{1\phi}$  – фазное напряжение;

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_i}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \phi_{p*} \cdot \eta_{p*}} \quad (3.27)$$

- ток статора двигателя при частичной нагрузке;

$\cos \phi_{p*}$  – коэффициент мощности при частичной нагрузке;

$\eta_{p*}$  – КПД при частичной нагрузке;

$p_* = P / P_n$  – коэффициент загрузки двигателя.

Коэффициент мощности и КПД при частичной нагрузке в технической литературе приводятся редко, а для целого ряда серий электрических машин такие данные в справочной литературе отсутствуют. Эти параметры можно определить, руководствуясь следующими соображениями:

- современные асинхронные двигатели проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при загрузке на 10 – 15 % меньше номинальной. Двигатели рассчитываются так потому, что большинство из них в силу стандартной дискретной шкалы мощностей работают с некоторой недогрузкой. Поэтому КПД при номинальной нагрузке и нагрузке  $p_* = 0,75$  практически равны между собой, т.е.

$$\eta_{\delta*} \approx \eta_i \quad (3.28)$$

- коэффициент мощности при нагрузке  $\delta_* = 0,75$  значительно отличается от коэффициента мощности при номинальной нагрузке, причём это отличие в значительной степени зависит от мощности двигателя и для известных серий асинхронных двигателей с достаточной для практики точностью подчиняется зависимости, представленной на рисунке 16.

Из формулы Клосса определим соотношение для расчёта критического скольжения:

$$s_{\hat{e}} = s_i \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot s_i \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_i \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)}, \quad (3.29)$$

где  $\beta = R_1 / (C_1 \cdot R_2')$

$$(3.30)$$

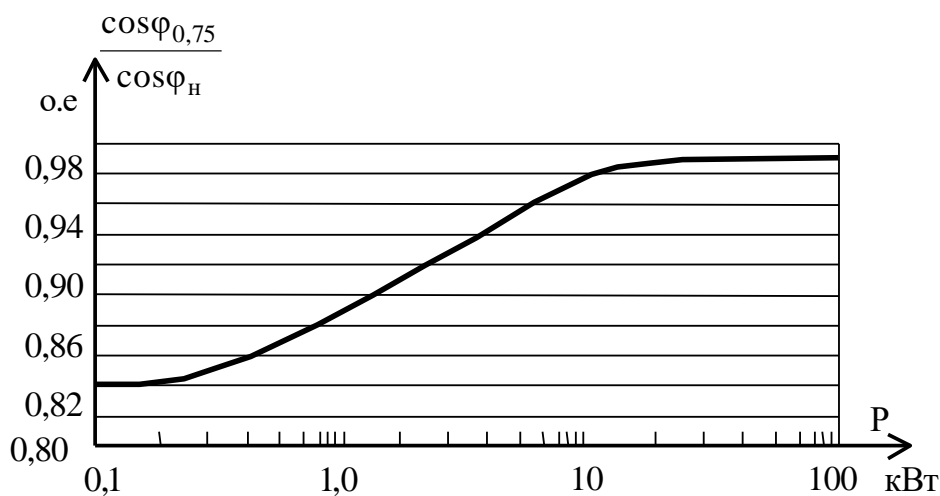


Рисунок 16. Зависимость  $\cos \phi_{0,75} / \cos \phi_i$  от мощности асинхронного двигателя

Значение коэффициента  $\beta$  находится в диапазоне 0,6 – 4, поэтому в первом приближении принимаем  $\beta = 1$ .

Далее необходимо определить ряд промежуточных коэффициентов:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1f}} ; \quad (3.31)$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_i)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_i} ; \quad (3.32)$$

$$\dot{A}_0 = \frac{I_{1f} \cdot \cos \phi_i - I_0 \cos \phi_0}{U_{1\phi}} , \quad (3.33)$$

где  $\cos \phi_0 = \cos 82^\circ = 0,139$  - коэффициент мощности асинхронного двигателя в режиме холостого хода;

$$\hat{A} = \frac{1}{s_i} + \frac{1}{s_e} - \dot{A}_0 \cdot 2 \cdot \frac{\dot{A}_1}{s_i} ; \quad (3.34)$$

$$\tilde{N} = \frac{1}{s_i \cdot s_e} - \left( \frac{1}{s_e^2} + \frac{1}{s_i^2} \right) \cdot \dot{A}_0 \cdot \dot{A}_1 . \quad (3.35)$$

Теперь по найденным значениям проверяем величину заданного в начале коэффициента  $\beta$ :

$$\beta_\delta = \left| \frac{-\hat{A}}{2} + \sqrt{\frac{\hat{A}}{2} - \tilde{N}} \right| . \quad (3.36)$$

Если  $\beta_\delta$  больше  $\beta$ , необходимо уменьшить, а если  $\beta_\delta$  меньше  $\beta$ , то увеличить значение коэффициента  $\beta$  и повторить весь расчёт сначала. Как правило, за несколько итераций удаётся получить вполне удовлетворительные результаты.

Если разница между  $\beta_\delta$  и  $\beta$  не превышает установленной погрешности расчёта ( $\delta = 0,001$ ) можно переходить к непосредственному определению параметров асинхронного двигателя.

Активное сопротивление ротора, приведённое к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{A_1}{(\beta + \frac{1}{s_{\hat{e}}}) \cdot C_1} \quad (3.37)$$

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta \quad (3.38)$$

Определим параметр  $\gamma$ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания  $X_{\text{кн}}$ .

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_{\hat{e}}^2} - \beta^2}. \quad (3.39)$$

$$\text{Тогда } X_{\hat{e}i} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2'. \quad (3.40)$$

Для того чтобы выделить из индуктивного сопротивления  $\tilde{O}_{\hat{e}i}$ , сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, воспользуемся соотношениями, которые справедливы для серийных асинхронных двигателей.

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведённое к статорной, может быть рассчитано:

$$X_{2H}' = \frac{0,58 \cdot X_{\text{кн}}}{C_1} \dots \quad (3.41)$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению:

$$X_{1H} = 0,42 \cdot X_{\text{кн}} \dots \quad (3.42)$$

Согласно векторной диаграмме (рисунок 15) ЭДС ветви намагничивания, наведённая потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна:

$$E_1 = \sqrt{(U_{1\phi} \cdot \cos \phi_i - R_1 \cdot I_{1f})^2 + (U_{1f} \cdot \sin \phi_i + X_{1f} \cdot I_{1f})^2}, \quad (3.43)$$

тогда индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_{\mu H} = \frac{E_m}{I_0} \dots \quad (3.44)$$



Используя параметры схемы замещения можно произвести расчёт механических и электромеханических характеристик.

### **3.5. Короткозамкнутый асинхронный двигатель во вращающейся системе координат**

Для решения вопросов проектирования асинхронного электропривода питателя и последующего его исследования выбрана структурная схема эквивалентного двухфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат. Структурная схема двигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся со скоростью  $\omega_{эл1}$  системе координат  $x, y$  и реактивной нагрузкой приведена на рисунке 14.

Структурная схема двухфазного электродвигателя во вращающейся системе координат имеет три управляющих воздействия:

- два постоянных по форме напряжения  $U_{1x}$  и  $U_{1y}$ , численные значения которых равны значениям фазных напряжений электродвигателя и определяются в соответствии с выбранной зависимостью  $U_1(f_1)$ ;
- значение угловой частоты вращения поля статора  $\omega_{эл1} = 2\pi \cdot f_1$ .

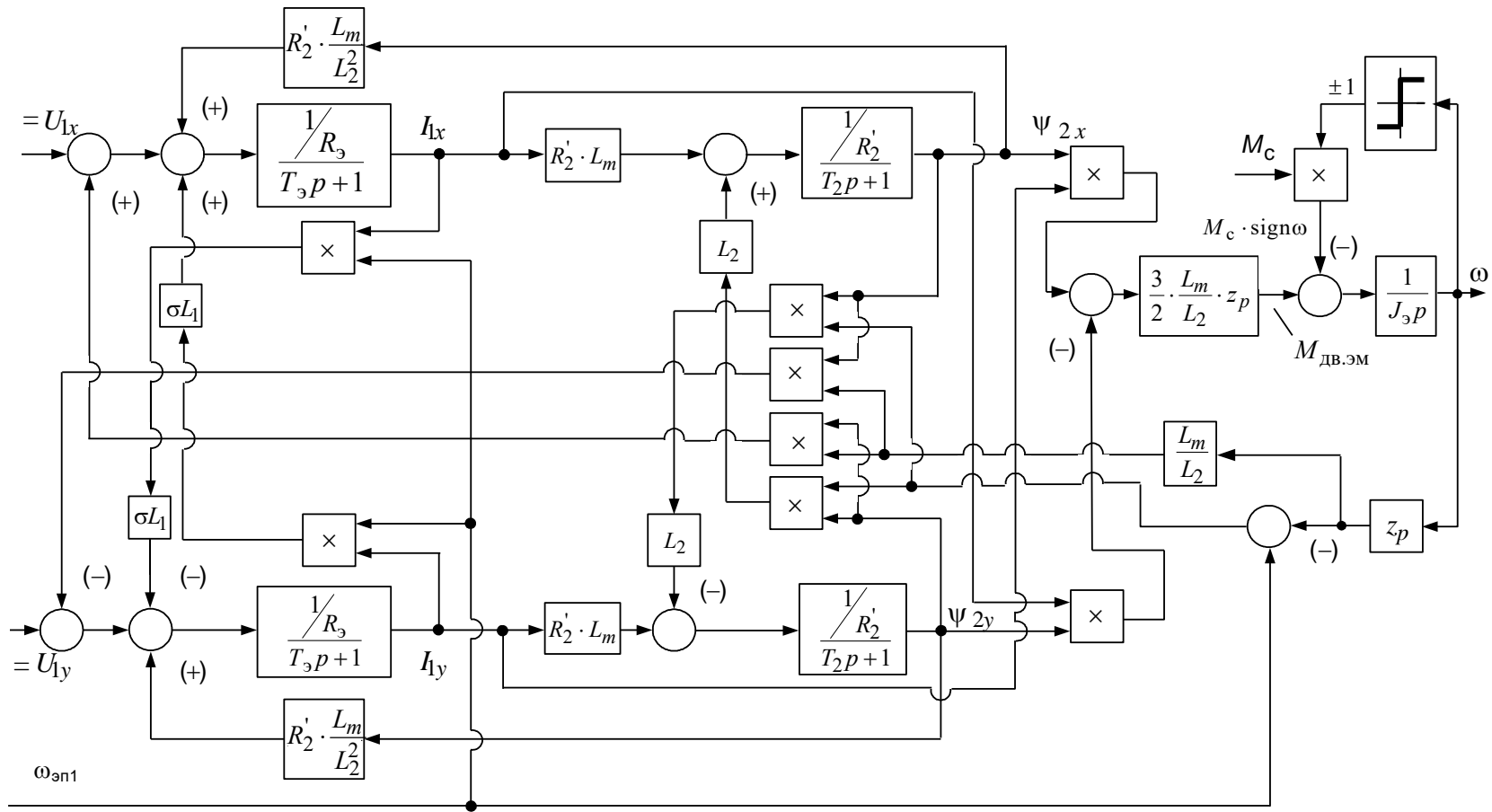


Рисунок 14 – Структурная схема асинхронного двигателя во вращающейся со скоростью  $\omega_{\text{эл1}}$  произвольно ориентированной системе координат  $x, y$

#### 4. Параметры звеньев структурной схемы двигателя

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{0.298}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.00095 \text{ Гн};$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{0.399}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.00127 \text{ Гн}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием полюсов статора (индуктивность контура намагничивания)

$$L_m = \frac{X_m}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{19.344}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.06 \text{ Гн}$$

Эквивалентная индуктивность обмоток

- статора

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 0.06095 \text{ Гн}$$

- ротора

$$L_2 = L_{2\sigma} + L_m = 0.06127 \text{ Гн}$$

Эквивалентное сопротивление:

$$R_y = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_m^2}{L_m} = 0.171 + 0.168 \cdot \frac{0.0889^2}{0.0916^2} = 0.3291 \text{ Ом}$$

Электромагнитные постоянные времени:

$$T_y = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_y} = \frac{0.052 \cdot 0.0909}{0.3291} = 0.0143 \text{ с.}$$

$$\text{Где } \sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{0.0889^2}{0.0916 \cdot 0.0909} = 0.052 - \text{коэффициент рассеивания}$$

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2'} = \frac{0.0916}{0.168} = 0.5452 \text{ с.}$$

Для исследования процессов при частотном регулировании в самом электродвигателе и далее в системе регулируемого электропривода

вентилятора используем метод имитационного моделирования и в качестве средства моделирования электромеханических систем примем программу *MATLAB R2007b*.

## **5 Имитационная модель двухфазного двигателя**

На основании структурной схемы рисунок 14 в программе *MATLAB* разработана имитационная модель двухфазного асинхронного электродвигателя с реактивной нагрузкой во вращающейся со скоростью  $\omega_{эл1}$  произвольно ориентированной системе координат  $x, y$  (рисунок 15),.

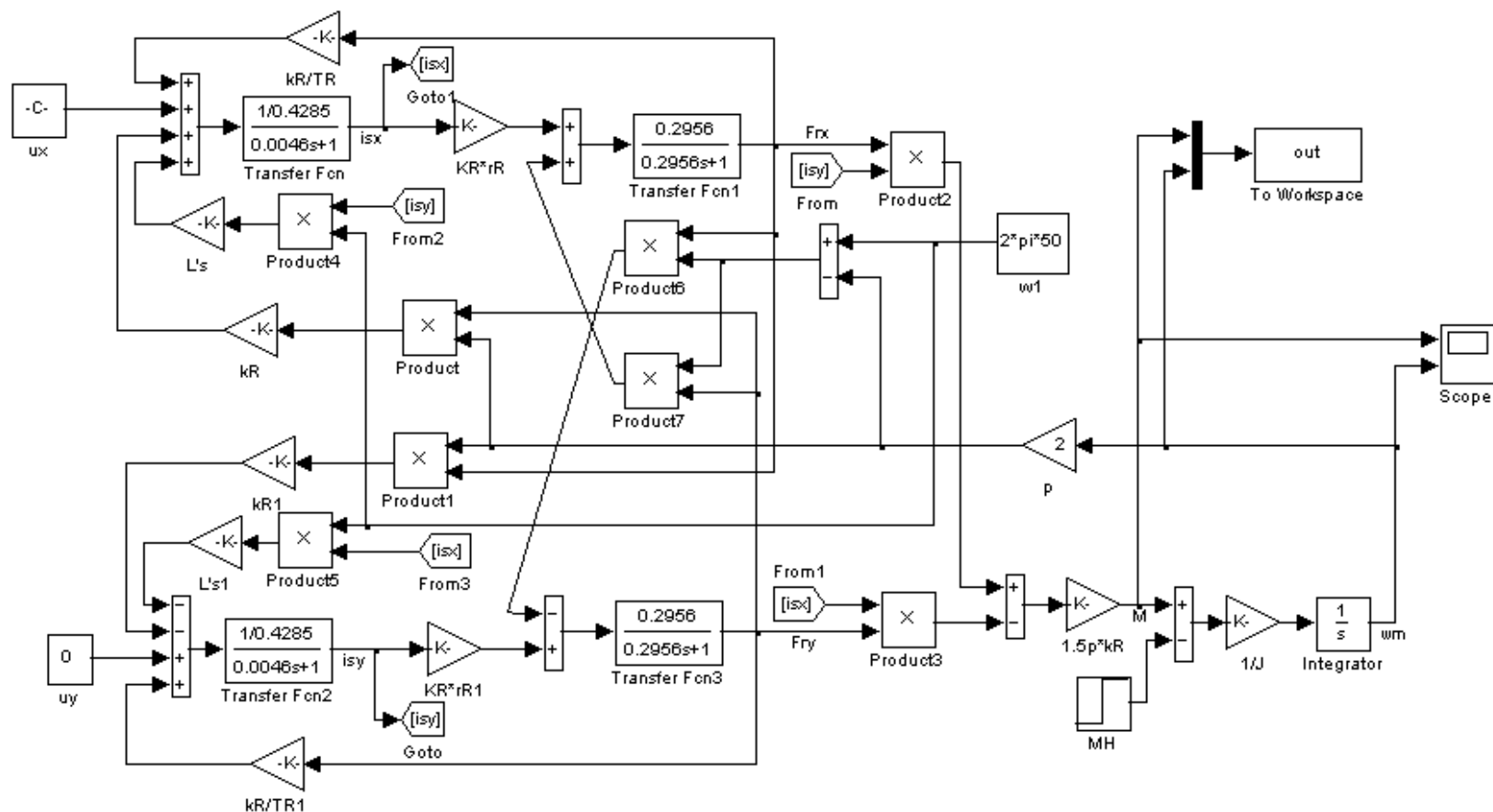


Рисунок 15 – Схема набора имитационной модели двухфазного асинхронного электродвигателя с реактивной нагрузкой во вращающейся со скоростью  $\omega_{эл1}$  произвольно ориентированной системе координат  $x, y$

Так как динамическую механическую характеристику асинхронного двигателя можно получить только по результатам расчетов переходных процессов, то вначале приведем графики переходных процессов момента рисунок 16 и скорости рисунок 17 при пуске двигателя прямым включением в сеть.

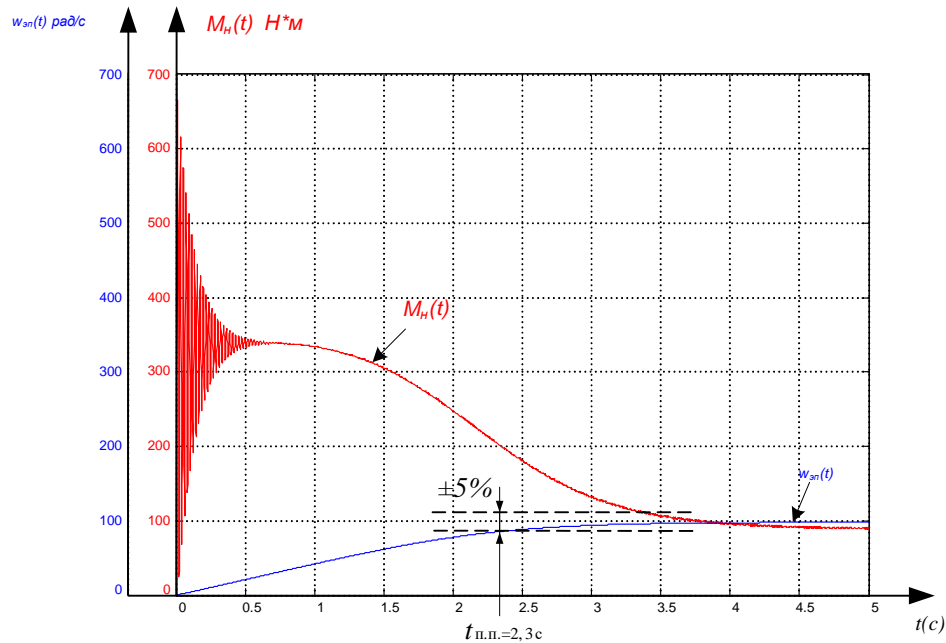


Рисунок 16. Переходный процесс при пуске короткозамкнутого асинхронного двигателя МТКФ (Н) 311-6 прямым включением в сеть

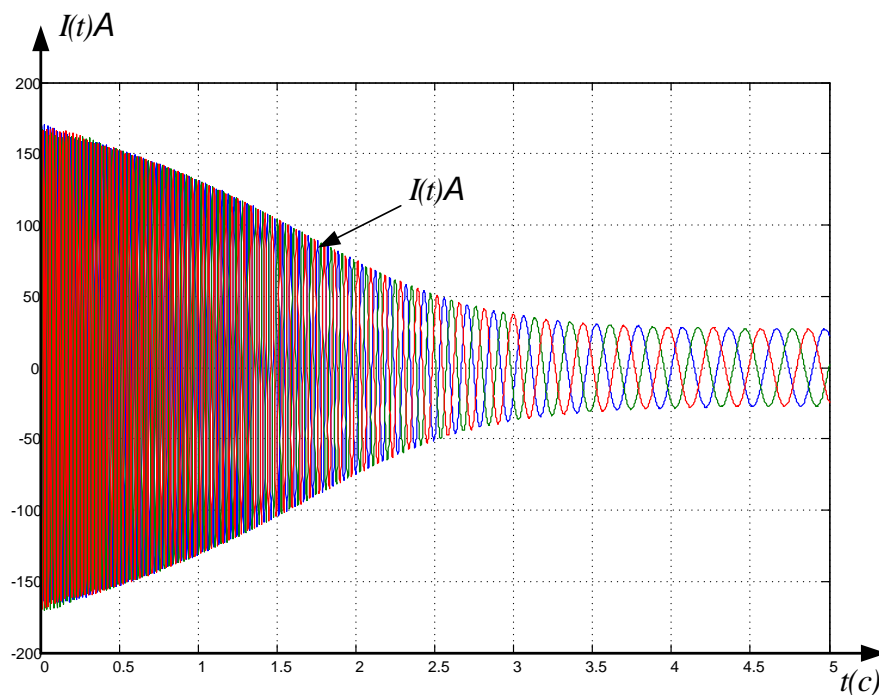


Рисунок 17 Переходный процесс тока статора при пуске короткозамкнутого асинхронного двигателя МТКФ (Н) 311-6 прямым включением в сеть

Графики  $\omega = f(t)$  и  $M = f(t)$  переходных процессов позволяют построить динамическую механическую характеристику (рисунок 18) асинхронного двигателя МТКФ (Н) 311-6 при пуске прямым включением в сеть.

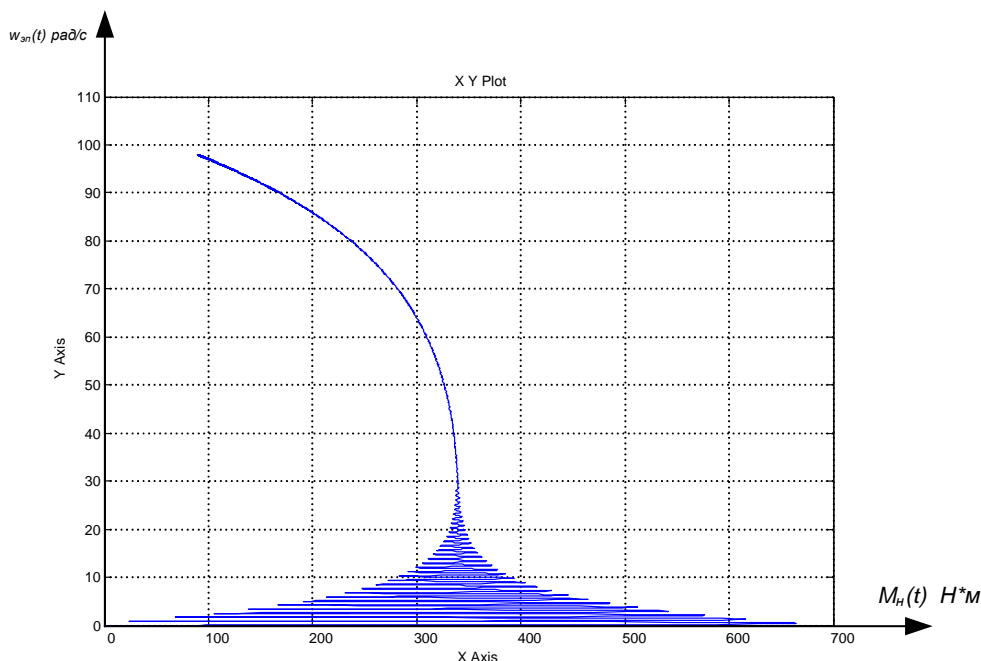


Рисунок 18 Динамическая механическая характеристика асинхронного двигателя МТКФ (Н) 311-6

Вид переходных процессов при прямом пуске асинхронного электродвигателя показывает наличие колебательной составляющей в кривой электромагнитного момента и затухающей по мере разгона двигателя. При достижении динамической характеристикой критического значения, двигатель имеет максимальное ускорение. Большие ударные моменты при пуске двигателя могут приводить к выходу из строя механизма машины. Значения токов обмоток статора во время разгона двигателя достигают значения в несколько сот ампер, что приводит к выходу из строя обмотки статора двигателя, по окончании времени разгона ток уменьшается до номинального. В итоге прямой пуск асинхронного двигателя не позволяет

получить удовлетворительных переходных характеристик. Также существующий привод не обеспечивает необходимый для технологического процесса диапазон регулирования.

## 6 Модель электропривода с задатчиком интенсивности

Механизм передвижения требует повышенной плавности движения с ограниченными значениями ускорения и рывка (второй производной скорости). С этой целью на входе регулируемого электропривода установлен S-образный задатчик скорости, формирующий на входе контура скорости управляющие сигналы с ограниченными значениями первой и второй производными. Форма выходной сигнала задатчика скорости представлена на рисунке 19. Схема набора имитационной модели S-образного задатчика скорости приведена на рисунке 20.

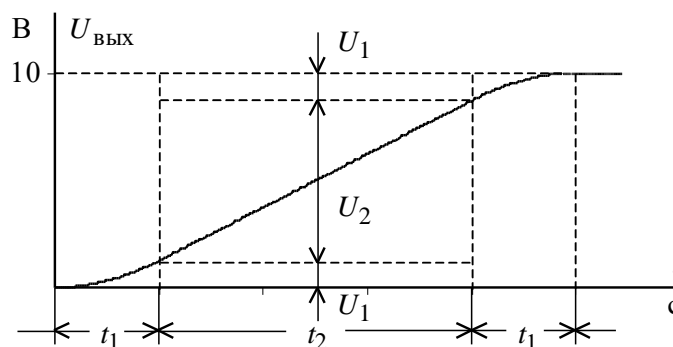


Рисунок 19 – Временная характеристика S-образного задатчика скорости

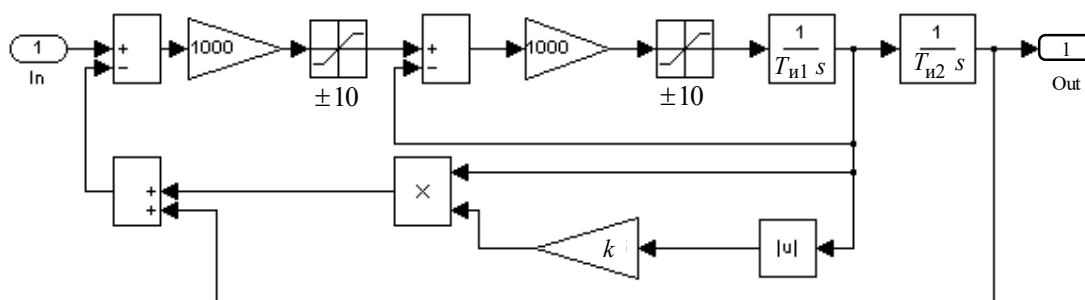


Рисунок 20 – Схема набора имитационной модели задатчика скорости



Смоделируем запуск асинхронного двигателя МТКФ (Н) 311-6 и рассмотрим характеристики переходных процессов и динамическую механическую характеристику.

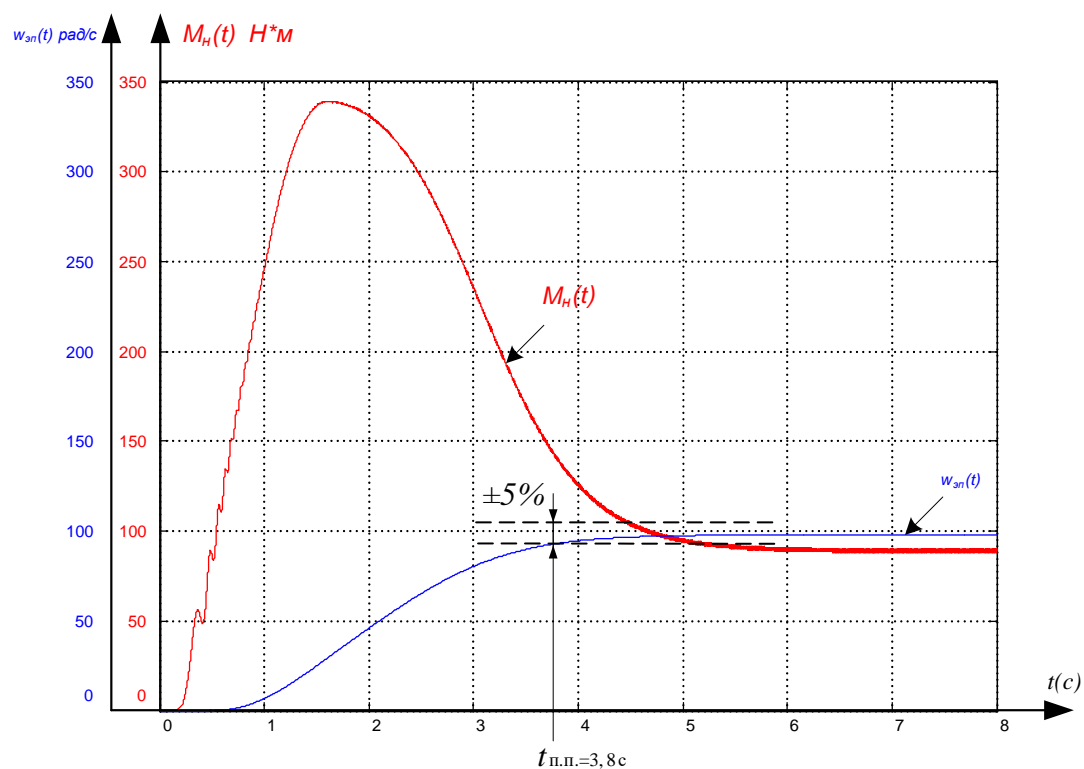


Рисунок 21. Переходный процесс двигателя МТКФ (Н) 311-6 при пуске с задатчиком интенсивности

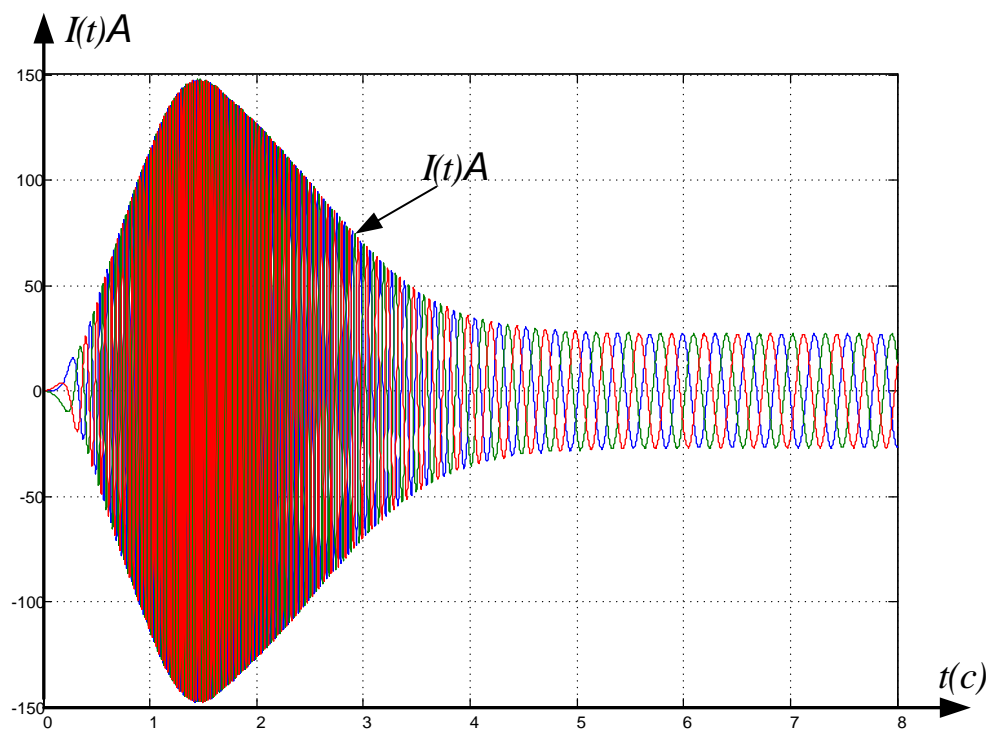


Рисунок 22 Переходный процесс тока статора при пуске короткозамкнутого асинхронного двигателя МТКФ (Н) 311-6 с задатчиком интенсивности.

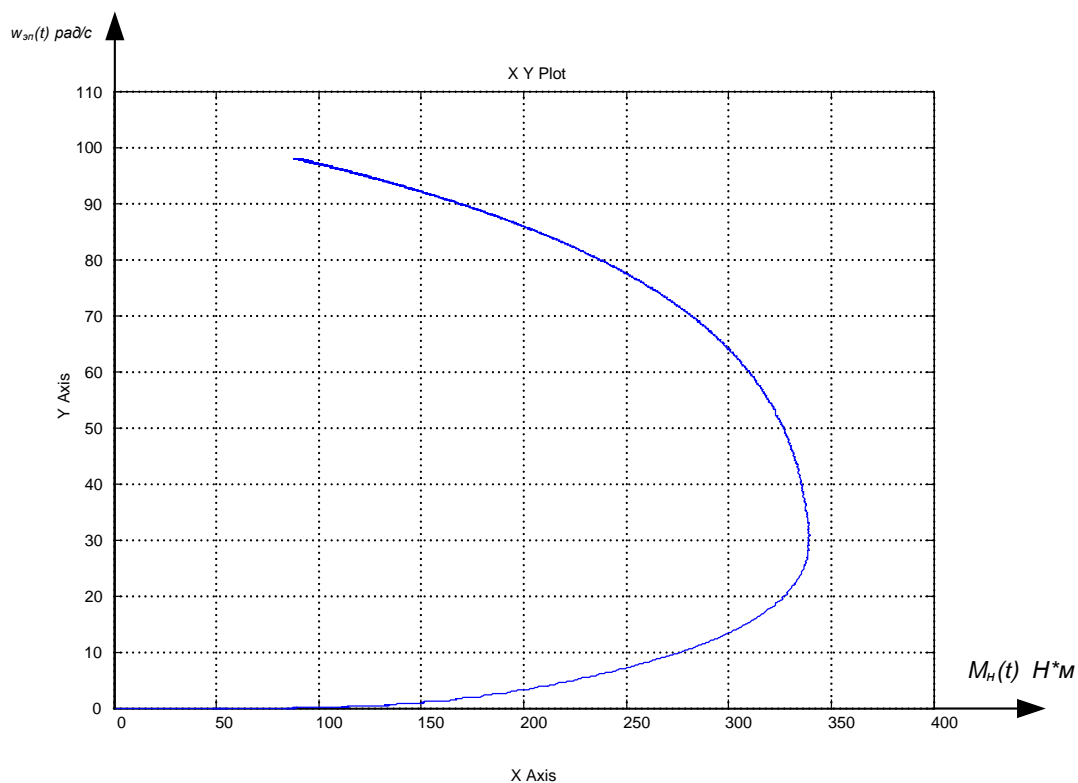


Рисунок 23. Динамическая механическая характеристика двигателя МТКФ (Н) 311-6 при пуске с задатчиком интенсивности

Сравнительный анализ графиков переходных процессов тока скорости и момента, а также динамических механических характеристик при пуске двигателя прямым включением в сеть (рисунки 16 – 18) и с использованием задатчика интенсивности (рисунки 19 – 23) показывает, что в результате формирования соответствующего закона изменения напряжения управления, можно: устранить броски динамического момента двигателя на начальном участке пуска и уменьшить максимальное перерегулирование скорости в конце пуска.

Таким образом, с целью надежного функционирования асинхронных электроприводов рекомендуется управляющее напряжение формировать от задатчика интенсивности, что положительно скажется на механизме привода, так как позволит предварительно выбирать зазоры в механизмах передачи и избежать их поломки.

## 7. Техническое описание и выбор устанавливаемого оборудования преобразователя

### 7.1. Внешний вид, комплектация и технические характеристики преобразователя ATV71HD37M3X

Внешний вид преобразователя представлен на рисунке 24



Рисунок 24. Внешний вид преобразователя ATV71HD37M3X

*Характеристики привода:*

1. Диапазон выходной частоты:  $f = 0 - 1000$  Гц.
2. Диапазон скорости:  $D = 1000$  в замкнутой системе с импульсным датчиком тока,  $D = 100$  в разомкнутой системе.
3. Статическая точность при изменении момента от  $0,2M_n$  до  $M_n$ :  $\pm 0,01\%$  номинальной скорости в замкнутой системе с применением импульсного датчика;  $\pm 10\%$  номинального скольжения без обратной связи по скорости.
4. Точность поддержания момента:  $\pm 5\%$  в замкнутой системе;  $\pm 15\%$  в разомкнутой системе.

5. Переходной перегрузочный момент: 170% номинального момента двигателя(типовое значение  $\pm 10\%$ ) в течении 60с, 220% номинального момента двигателя(типовое значение  $\pm 10\%$ ) в течении 2с.

6. Тормозной момент: 30% номинального момента двигателя без тормозного сопротивления, до 150% номинального момента двигателя с тормозным сопротивлением.

7. Переходный максимальный ток: 150% номинального тока преобразователя частоты в течении 60с; 160% номинального тока преобразователя частоты в течении 2с.

8. Постоянный момент при 0Гц для ATV71HD37M3X: преобразователь Altivar 71 может в продолжительном режиме обеспечить номинальный ток преобразователя.

9. Закон управления асинхронным двигателем: векторное управление с обратной связью по скорости (вектор тока), система адаптации мощности для неуравновешенных механизмов, векторное управление без обратной связью по скорости(вектор тока или напряжения), в данном случае – закон «напряжение/частота» по 2 или 5 точкам.

10. Контур регулирования частоты: ПИ-регулятор с перестраиваемой структурой для получения характеристик по скорости, адаптированных к механизму (точность и быстродействие).

11. Компенсация скольжения: автоматическая, не зависящая от характера нагрузки, возможны настройка или отключение, но при данном выбранном законе управления «напряжение/частота» не используется.

*Электрические характеристики привода:*

1. Сетевое питание для для ATV71HD37M3X:  $U = 380 \pm 15\%V$ ,  $480 \pm 10\%V$ , трёхфазное.

2. Частота:  $f = 50 \pm 5\% \div 60 \pm 5\% \text{ Гц}$ .

3. Сигнализация: 1 красный светодиод, если преобразователь под напряжением, то светодиод горит.

4. Выходное напряжение: максимальное трёхфазное напряжение равно напряжению сети.

5. Уровень шума преобразователя в соответствии с директивой 86-188/ЕЕС: 63,7дБ.

## 7.2. Характеристики подключения

Характеристики соединительных кабелей при монтаже в шкафу:  
одножильный кабель МЭК, окружающая температура 45 °С, медь 90 °С XLPE/EPR или медь 70 °С PVC.

Подключение к клеммам питания, двигателя, промежуточного звена постоянного тока: к клеммам питания (L1/R, L2/S, L3/T) – 8 мм<sup>2</sup>; 1,3 Н·м; максимальное сечение проводников и момент затяжки: 4 × 120 мм<sup>2</sup>, 2,5 Н·м; к клеммам двигателя (U/T1, V/T2, W/T3) – 2 × (3 × 70 мм<sup>2</sup>), 2,5 Н·м; к клеммам промежуточного звена постоянного тока (PC/-, P0, PA/+) – 2 × 120 мм<sup>2</sup>.  
Электрические характеристики цепей управления приведены в таблице 4

Таблица 4.- Электрические характеристики цепей управления

|                               |         |   |
|-------------------------------|---------|---|
| Наличие внутренних источников |         | Защищённые от коротких замыканий и перегрузок: 1 источник постоянного тока стабилизированный, $U = 10,5\text{В} \pm 5\%$ для задающего потенциометра (от 1 до 10 кОм), максимальный ток 10 мА; 1 источник постоянного тока стабилизированный, 24 В (минимум 21 В, максимум 27 В), максимальный ток 200 мА |
|                               | AI-/AI+ | 1 аналоговый дифференциальный двухполярный вход, постоянное стабилизированное напряжение $\pm 10$ , максимальное неразрушающее 24 В; время дискретизации: $\leq 2 \pm 0,5\text{мс}$   |

|   |                               |  |
|---|-------------------------------|--|
| Аналоговые входы  | AI2                           | 1 аналоговый вход, конфигурируемый по напряжению или по току: аналоговый вход по напряжению 0-10В; полное сопротивление 30 кОм; аналоговый вход по току X-Y мА с программированием X-Y от 0 до 20 мА, максимальное полное сопротивление нагрузки 242 Ом  |
|   | Другие входы                  | См. дополнительные карты   |
| Аналоговые конфигурируемые выходы по напряжению и по току | AO1                           | 1 аналоговый выход, конфигурируемый по напряжению или току: аналоговый выход по напряжению 0-10В, постоянный стабилизированный ток, минимальное сопротивление нагрузки 470 Ом; аналоговый выход по току X-Y мА с программированием X-Y от 0 до 20 мА, максимальное полное сопротивление нагрузки 500 Ом  |
| Другие выходы   |                               | См. дополнительные карты   |
| Дискретные входы  | U1-U5                         | 5 программируемых дискретных входов, постоянный ток, 24В, совместимых с ПЛК стандарт МЭК 65-68, уровень 1, полное сопротивление 3,5 кОм, максимальное напряжение 30В, время дискретизации: $\leq (2 \pm 0,5\text{мс})$ ; многократное назначение позволяет совмещать несколько функций на один вход(например: U1 – вперед и заданная скорость 2, U3 – назад и заданная скорость 3)   |
| Релейные конфигурируемые выходы                           | R1A,<br>R1B,<br>R1C           | 1 релейный выход с переключающим контактом; минимальная переключающая способность: 3мА при 24В постоянного стабилизированного тока; максимальная переключающая способность: при активной нагрузке ( $\cos \varphi = 1$ ): 5А для 250В переменного тока или 30В постоянного тока; при индуктивной нагрузке ( $\cos \varphi = 0,4$ и $L/R = 7\text{мс}$ ): 2А для 250В переменного тока или 30В постоянного тока; время дискретизации: $\leq 7 \pm 0,5\text{мс}$ ; |
|   | R2A,<br>R2B                   | 1 релейный выход с НО контактом; минимальная переключающая способность: 3мА при 24В постоянного тока; максимальная переключающая способность: при активной нагрузке ( $\cos \varphi = 1$ ): 5А для 250В переменного тока или 30В постоянного тока; при индуктивной нагрузке: 2А для 250В переменного тока или 30В постоянного тока; время дискретизации: $\leq 7 \pm 0,5\text{мс}$ ;   |
| Дискретные входы  | U6                            | 1 дискретный вход, конфигурируемый переключателем на дискретный вход или вход для подключения терморезисторов РТС, характеристики идентичны U1-U5, вход для подключения до 6 терморезисторов, соединённых последовательно: номинальное значение $< 1,5\text{кОм}$ ; сопротивление отключения 3кОм; возврата 1,8кОм; защита от к.з. $< 50\text{Ом}$   |
|   | Положительная логика (Source) | состояние 0, если $\leq 5\text{В}$ или дискретный вход не подключен, состояние 1, если $\geq 11\text{В}$   |
|   | Отрицательная                 | состояние 0, если $\geq 16\text{В}$ или дискретный вход не подключен, состояние 1, если $\leq 10\text{В}$  |

|   |              |  |
|---|--------------|--|
|   | логика(Sink) |  |
|   | Другие входы | см. дополнительные карты   |
| Вход безопасности   | PWR          | 1 вход для защитной функции блокировки преобразователя: питание: 24В пост. тока ( $\leq 30V$ ); полное сопротивление: 1,5кОм; состояние 0, если $<2V$ , состояние 1, если $>17V$   |
| Кривые разгона и торможения   |              | Формы кривых: линейная, с отдельной настройкой от 0,01 до 999,9с S, U-образная или индивидуальная; автоматическая адаптация темпа торможения при превышении тормозной способности, возможно запрещение такой адаптации(использование тормозного сопротивления)   |
| Торможение до полной остановки  |              | Динамическое торможение: при подаче сигнала на назначаемый дискретный вход; автоматически при уменьшении частоты ниже 0,1Гц в течении от 0 до 60с или постоянно; ток настраивается от 0 до 1,2In (только в разомкнутой системе)  |
| Основные защиты и характеристики безопасности преобразователя частоты |              | Тепловая защита: от чрезмерного перегрева; перегрева силового каскада, защита от: коротких замыканий между выходными фазами, обрыва фазы сетевого питания, перегрузки по току между выходными фазами и землёй; перенапряжений в звене постоянного тока; обрыва цепи управления, превышения ограничения скорости.<br>Функции защиты: от пониженного или повышенного напряжения питания, потери фазы для трёхфазного питания |
| Защита двигателя  |              | Встроенная в преобразователь тепловая защита посредством постоянного расчёта $I^2t$ с учётом скорости: сохранение теплового состояния двигателя при отключении питания преобразователя частоты ПЧ, изменяемая функция с помощью аналоговых средств в зависимости от типа охлаждения двигателя (естественное или принудительное). Защита от обрыва фазы двигателя. Защита с помощью резисторов PTC                          |
| Электрическая прочность ATV71HD75N4                                   |              | Между силовыми цепями и землёй: 3535В постоянного тока.<br>Между цепями управления и силовыми цепями: 5092В  |
| Сопротивление изоляции относительно земли                             |              | $>1M\Omega$ (электрическая изоляция), 500В постоянного тока в течении 1мин   |

### 7.3. Характеристики коммуникационных портов



Характеристики для применяемого протокола Modbus приведены в таблице 5

Таблица 5 - Характеристики для применяемого протокола Modbus

| Тип         |                       | Терминальный разъём<br>Modbus RG45   | Сетевой разъём<br>Modbus RG45  |
|-------------|-----------------------|--|--|
| Структура   | Физический интерфейс  | RS485, двухпроводной   |  |
|             | Режим передачи        | RTU  |  |
|             | Скорость передачи     | Конфигурируемая с помощью терминала или программного обеспечения PowerSuite: 9600 или 19200бит/с   | Конфигурируемая с помощью терминала или программного обеспечения PowerSuite: 4800, 9600, 19200бит/с или 38,4Кбит/с   |
|             | Формат                | Фиксированный, 8 бит, контроль чётности, 1 стоповый бит  | Конфигурируемая с помощью графического терминала или программного обеспечения PowerSuite: 8 бит, контроль нечётности, 1 стоповый бит; 8 бит, контроль чётности, 1 стоповый бит; , 8 бит, без контроля чётности, 1 стоповый бит; 8 бит, без контроля чётности, 2 стоповых бита. |
|             | Адресация             | Адрес ПЧ конфигурируется с помощью терминала или программным обеспечением PowerSuite от 1 до 247. Могут быть сконфигурированы 3 адреса, обеспечивающим доступ к данным ПЧ, программируемой карты встроенного контроллера и коммуникационной карты. Эти 3 адреса идентичны для сетевого и терминального разъёма |  |
| Сервисы     | Сообщения             | Чтение внутренних регистров(03), ≤ 63 слов, запись одного регистра(06), запись несколько регистров(16), ≤ 61 слов, чтение-запись несколько регистров(23), ≤ 62/59 слов, чтение идентификатора устройства(43), диагностика(08)  |  |
|             | Контроль связи        | Может быть замаскирован, настраиваемый тайм аут: от 0,1 до 30с   |  |
| Диагностика | с помощью светодиодов | Один светодиод активизации на встроенном терминале. Один светодиод для каждого порта   |  |

## **7.4. Дополнительное оборудование для преобразователя**

### **7.4.1. Коммуникационные карты и карта контроллера**

В данный преобразователь частоты ATV71HD75N4 установлена дополнительно коммуникационная карта Modbus/Uni-Telway с общим разъёмом сети Modbus для точного управления с высоким быстродействием, конфигурирования, настройки и контроля. Второй разъём позволяет подключить операторскую панель Magelis для диалога с преобразователем. Программируемая карта встроенного контроллера Controller Inside, которая тоже входит в комплект, превращает преобразователь в звено структуры автоматизации: карта обладает собственными входами и выходами и может управлять входами-выходами преобразователя и карты расширения; карта содержит прикладные программы, написанные на языках, соответствующих стандарту МЭК 61131-3, что уменьшает время отклика системы автоматизации; благодаря наличию порта CANopen Master, карта может управлять другими преобразователями и проводить опрос модулей входов-выходов и импульсных датчиков.

Третья карта, встраиваемая в данное оборудование: интерфейсная карта цифрового датчика с дифференциальными выходами, совместимыми с RS 422, с открытым коллектором и с выходом типа push-pull.

Для данного преобразователя подходит интерфейсная карта VW3 A3 401, (см. характеристики в таблице 5), с выходами совместимыми с RS-422, так как симметричный интерфейс RS-422, использующий дифференциальные сигнальные линии, обеспечивает принцип изменения напряжения на этих линиях. Этот принцип кодирования делает данный стандарт устойчивым к внешним возмущениям.

Интерфейсная карта импульсного датчика (цифрового датчика перемещений с относительным отсчётом), обеспечивает оптимальную работу привода в векторном управлении, независимо от нагрузки на валу. Но при данном выбранном законе управления  $U/f = \text{const}$  позволяет улучшить

статическую точность системы регулирования скорости. Интерфейсная карта также используется для обеспечения превышения скорости механизма крана при превышении скорости, обеспечивает задание управляющего сигнала на преобразователь Altivar 71 с выхода датчика. Такое применение предназначено для синхронизации скорости приводов двух двигателей механизма передвижения крана, двигателя правой и левой опоры крана. Карта устанавливается в предназначенное для неё место в преобразователе частоты.

#### **7.4.2. Диалоговые средства**

Элементы обеспечивают многоточечное подключение графического терминала к нескольким преобразователям. Для такого подключения используется терминальный разъем Modbus, расположенный на передней части ПЧ. Пример многоточечного подключения для двух преобразователей для выбранного привода представлен на рисунке 34.

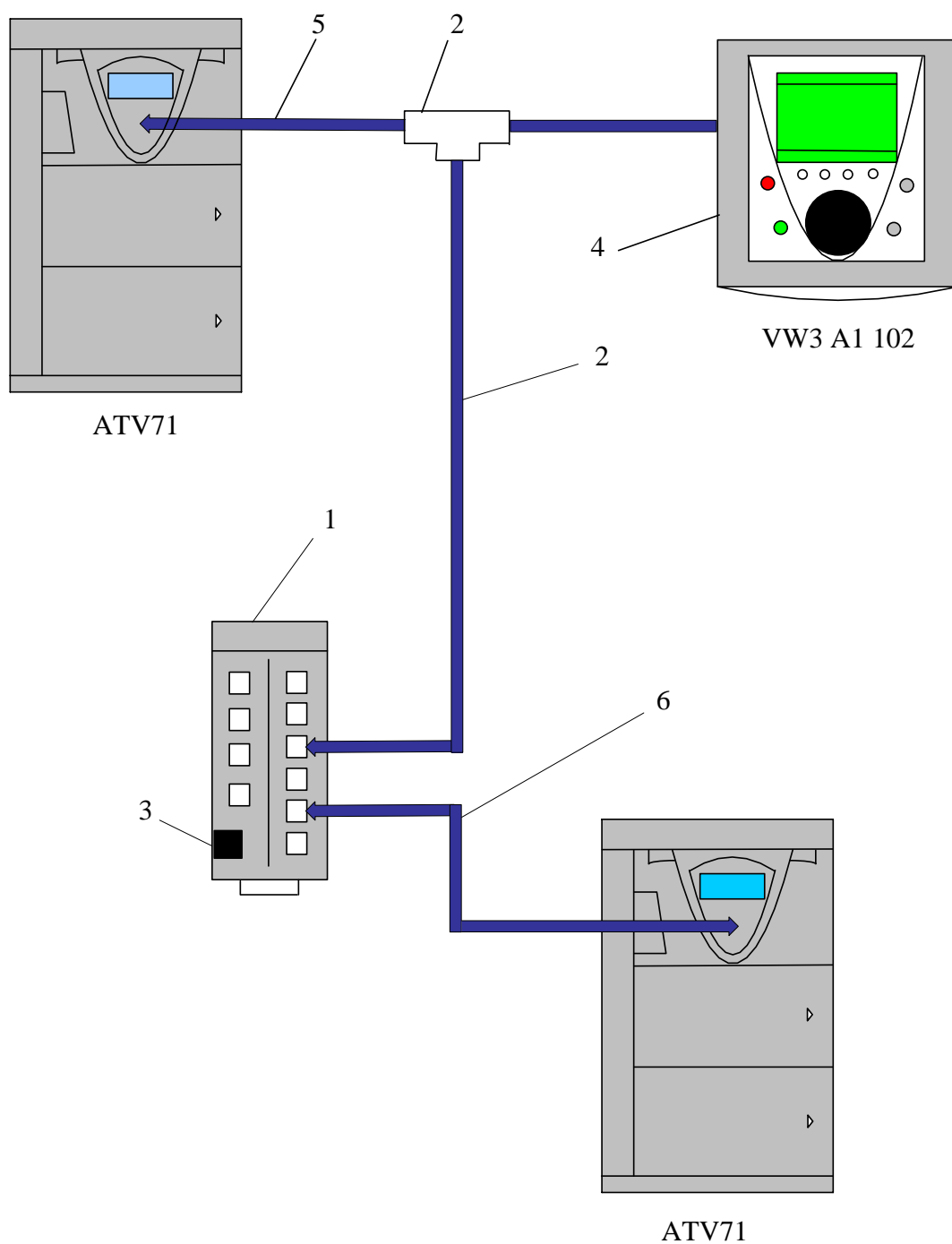


Рисунок 34. Пример подключения преобразователей ATV71HD37M3X

Назначение и номера каталогов соединительных принадлежностей представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Назначение и номера каталогов

| Назначение   |   | № на<br>рисунке | Комплект<br>поставки | Номер по<br>каталогу | Масса  |
|--|---|-----------------|----------------------|----------------------|--------|
| Концентратор Modbus, 10<br>соединителей RJ45 и один<br>винтовой клеммник |   | 1               | 2                    | LU9 GC3              | 0,5кг  |
| Т-образный<br>ответвитель<br>Modbus                                      | С кабелем<br>длиной 0,3м                                    | 2               | —                    | VW3 A8 306<br>TF03   | —      |
|  | С кабелем<br>длиной 1м                                      | 2               | —                    | VW3 A8 306<br>TF10   | —      |
| Сетевой<br>терминатор<br>Modbus  | Для<br>соединителя<br>RJ45:<br>R=120Ом;<br>C=1нФ            | 3               | 2                    | VW3 A8 306<br>RC     | 0,01кг |
| Выносной<br>комплект   | Для<br>установки<br>графического<br>терминала<br>VW3 A1 101 | 4               | —                    | VW3 A1 102           | 0,15кг |

### 7.4.3. Программное обеспечение Power Suite

Программное обеспечение Power Suite предоставляет пользователю следующие возможности:

1. отображение сообщений на 6 языках(английский, испанский, итальянский, китайский, немецкий, французский;
2. подготовку баз данных без подключения преобразователя к персональному компьютеру ПК;
3. сохранение конфигураций настроек на дискете или на жёстком диске, а также перезагрузку в преобразователь;
4. печать; преобразование файлов, сохранённых ПЧ Altivar 58 или Altivar 58F, для загрузки их в преобразователь Altivar 71;
5. визуализацию осциллограмм. После подключения ПК к приводному устройству программное обеспечение Power Suite может использоваться для: пересылки подготовленной конфигурации; настройки; контроля, включая новые функциональные возможности: осциллограф; быстрый осциллограф (минимальная развёртка 2мс); визуализацию коммуникационных параметров; управления; сохранения конечной конфигурации. При обслуживании для облегчения операций Power Suite позволяет: сравнивать текущую конфигурацию с ранее сохранённой; управлять установленным оборудованием; структурировать его по уровню; хранить сообщения по обслуживанию; облегчать подключение к сети Ethernet путём сохранения IP-адреса.

Для пользовательского интерфейса программное обеспечение Power Suite позволяет: представлять классифицированные по функциям параметры устройства в виде иллюстрированных диаграмм или простых таблиц; задавать пользовательские имена параметров; создавать: пользовательское меню (выбор индивидуальных параметров); приборные доски контроля с графическими элементами (движки потенциометров, измерительные приборы); выполнять сортировку параметров; отображать тексты на пяти

языках. Выбор языка осуществляется мгновенно и не требует перезагрузки программы. Power Suite включает в себя также справочную систему: по средствам Power Suite; по функциям приводных устройств путём прямого доступа к руководствам по эксплуатации.

#### 7.4.4. Выносной графический терминал

Графический терминал (см. рисунок 26) устанавливается на лицевой поверхности преобразователя частоты. Терминал для данного привода используется дистанционно с помощью принадлежностей для выносной установки, подключенный к двум ПЧ с помощью соединительных проводов для многоточечной связи. Терминал применяется с целью: управления, настройки и конфигурирования преобразователя частоты, визуализации текущих значений (входов-выходов

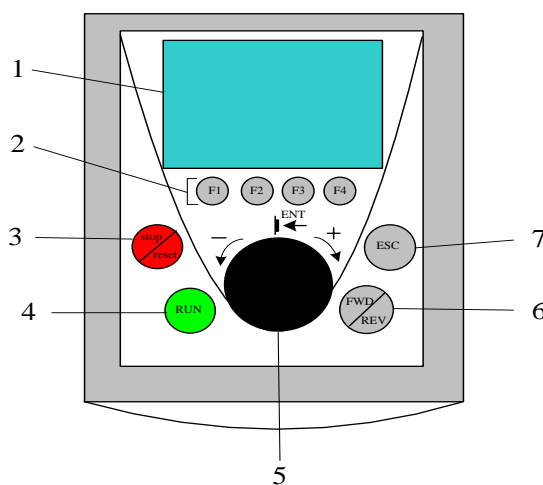


Рисунок 26. Описание графического дисплея

преобразователя частоты), сохранения и перезагрузки конфигураций; 4 файла с конфигурациями могут быть сохранены. Максимальная температура его эксплуатации до 60°C, степень защиты IP 54.

Описание:

1 – графический дисплей, 8 строк, 240×160 пикселей; крупные цифры, видимые с 5 м, отображение в виде барграфов(индикаторных линеек);

2 – функциональные клавиши F1, F2, F3, F4, которые применяются для диалоговых функций: прямой доступ, экраны помощи, навигация; прикладных функций: локальное/дистанционное управление, заданные скорости;

3 – клавиша STOP/RESET: локальное управление остановкой двигателя, сброс неисправностей;

4 – клавиша RUN: локальное управление пуском двигателя;

5 – навигационная клавиша: нажатие – сохранение текущего значения(ENT); вращение  $\pm$  : увеличение или уменьшение текущего значения, переход на следующую или предыдущую строку;

6 – клавиша FWD/REV: реверс направления вращения двигателя;

7 – клавиша ESC: отказ от значения, параметра или меню для возврата к предыдущему выбору.

Клавиши 3, 4 и 6 позволяют непосредственно управлять преобразователем.

### 7.3.5. Дроссель постоянного тока

Дроссель позволяет уменьшить гармонические составляющие тока для соответствия стандарту 61000-3-2 для преобразователей частоты с сетевым током от 16 до 75А. Преобразователь оснащён дросселем, который соответствует стандарту МЭК/61000-3-12 при соблюдении кратности тока короткого замыкания большей или равной 120 в точке подключения к сети (см. рисунок 27.).

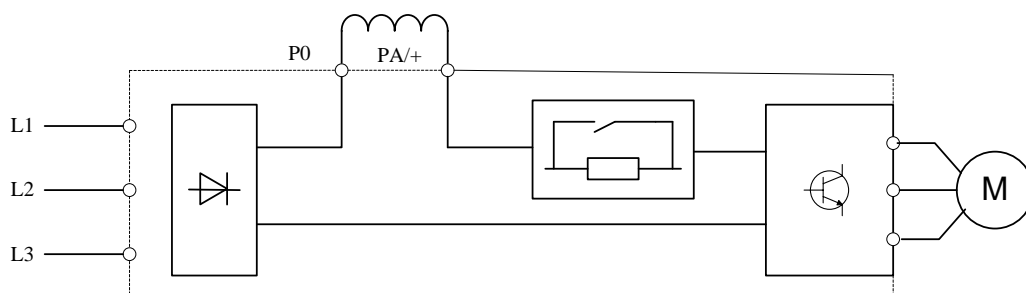


Рисунок 27. Схема преобразователя.



#### 7.4.6. Сетевой дроссель

Сетевой дроссель (см. рисунок 28) позволяет обеспечить лучшую защиту от сетевых перенапряжений и уменьшить гармоники тока, вырабатываемые преобразователем. Рекомендуемые дроссели позволяют ограничить линейный ток. Они разработаны в соответствии со стандартом EN 50178(VDE10160, уровень 1 перенапряжения большой мощности в питающей сети). Значение индуктивности соответствует падению напряжения от 3 до 5% номинального напряжения сети. Более высокое значение вызывает потерю момента. Дроссель устанавливается на входе преобразователя частоты. Использование сетевого дросселя необходимо, так как существует параллельная работа двух преобразователей с близко расположенными соединениями. Параметры сетевого дросселя приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Параметры сетевого дросселя

| Преобразователь  | Сетевой ток к.з. | Индуктивность | Ном.ток | Потери | № по каталогу | Масса |
|------------------|------------------|---------------|---------|--------|---------------|-------|
| ATV71HD15M3<br>X | 22кА             | 0,3мГн        | 100А    | 260Вт  | VW3 F4<br>556 | 16кг  |

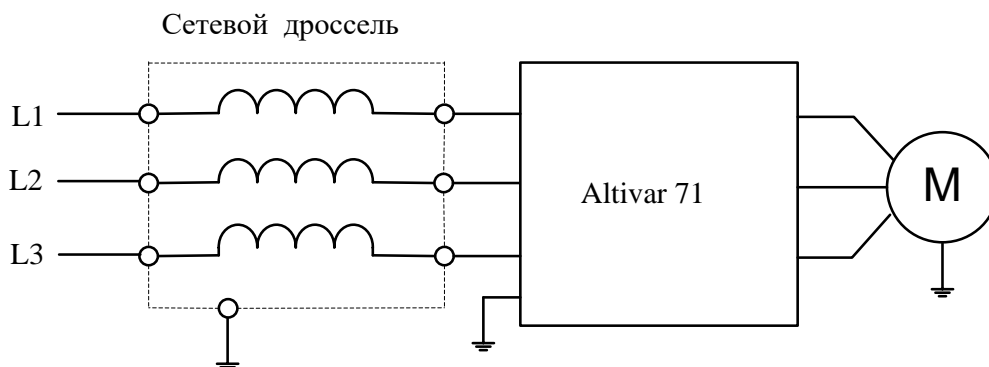


Рисунок 28 - Включение в цепь питания сетевого дросселя

#### 7.4.7. Тормозное сопротивление

Тормозное сопротивление обеспечивает работу преобразователя Altivar 71 при торможении до полной остановки или во время снижения скорости путём рассеивания энергии торможения. Оно обеспечивает максимальный переходной тормозной момент. Сопротивление предназначено для установки вне шкафа. Необходимо обеспечить естественную вентиляцию устройства. Воздух не должен содержать примесей пыли, коррозионных газов и конденсата. Основные характеристики тормозного сопротивления приведены в таблице 8

Таблица 8 - Основные характеристики тормозного сопротивления

| Тип преобразователя | Значение R при 20град С, Ом | Средняя мощность, кВт при 50° С | Номер по каталогу | Масса |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------|-------|
| ATV71HD15M3X        | 8,1                         | 44                              | VW3 A7 805        | 92кг  |

Среднее значение мощности, рассеиваемое сопротивлением в кожухе при 50°С, определяется коэффициентом нагрузки, соответствующим наиболее частым применениям. Для ATV71HD15M3X: торможение в течении 100с с моментом 1Мн для цикла 200с; торможение в течении 20с с моментом 1,6Мн для цикла 200с. Так как режим рекуперации в данном приводе не играет большой роли из-за малого времени торможения и махового момента инерции, то модуль рекуперации не используется, применяется тормозное сопротивление.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

|         |                               |
|---------|-------------------------------|
| Группа  | ФИО                           |
| 3-5Г5Б1 | Абдухаликов Хумоюн Бобир угли |

|                     |                                |                           |  |
|---------------------|--------------------------------|---------------------------|--|
| Школа               | Инженерная школа<br>энергетики | Отделение                 | Электроснабжение<br>промышленных предприятий |
| Уровень образования | Бакалавриат                    | Направление/специальность | 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  |

Тема ВКР:

|   |   |
|---|---|
| <b>Частотно-регулируемый электропривод механизма передвижения крана</b>   |   |
| <b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>  |   |
| 1. Характеристика объекта исследования  | Асинхронный электропривод механизма передвижения козлового крана  |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:  |   |
| <b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul> | Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.   |
| <b>2. Производственная безопасность</b><br>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов<br>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия  | Проанализировать вредные и опасные факторы проектируемой производственной среды.<br>- Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека<br>- повышенный уровень шума на рабочем месте;<br>- недостаточная освещенность рабочей зоны;<br>- повышенный уровень электромагнитных полей (ЭМП);<br>- отклонение параметров микроклимата |
| <b>3. Экологическая безопасность:</b>   | Анализ воздействия на атмосферу: выбросы загрязняющих веществ, удаляемые из производственных помещений.<br>Анализ воздействия на литосферу: образование отходов в результате деятельности, к которым относятся первичная упаковка сырья, отработавшие фильтры, и т.д.   |

|  |   |
|--|---|
| <b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>- выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> <li>- Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul> |
|--|---|

|   |  |
|---|--|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> |  |
|---|--|

**Задание выдал консультант:**

| Должность | ФИО                         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------------------|------------------------|---------|------|
| Ассистент | Немцова Ольга Александровна |                        |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа  | ФИО                           | Подпись | Дата |
|---------|-------------------------------|---------|------|
| 3-5Г5Б1 | Абдухаликов Хумоюн Бобир угли |         |      |

## **8. Социальная ответственность**

### **Введение**

Безопасность жизнедеятельности представляет собой область научных знаний, охватывающих теорию и практику защиты человека от опасных и вредных факторов в среде обитания, во всех сферах человеческой деятельности, в том числе и на производстве. С этой точки зрения безопасность жизнедеятельности можно назвать социальной (общественной) безопасностью, т.е. ответственность перед людьми и данными им обещаниями, когда организация учитывает интересы коллектива и общества, возлагая на себя ответственность за влияние их деятельности на заказчиков, поставщиков, работников, акционеров. Безопасность жизнедеятельности человека определяется характером труда, организацией, организацией рабочего места, наличием опасных и вредных факторов в среде обитания.

В данном разделе рассматриваются опасности при эксплуатации асинхронного электропривода механизма передвижения козлового крана.

### **8.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.**

#### **8.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.**

Согласно ТК РФ, N 197 -ФЗ оператор козлового крана имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;

- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

### **8.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.**

Рабочее место оператора козлового крана должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78. Оно должно занимать площадь не менее 4,5 м<sup>2</sup>, высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м<sup>3</sup> на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 х 1000 кв. мм. Под столом должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина - 350 мм. Удаленность клавиатуры от края стола должна быть не более 300 мм, что обеспечит удобную опору для предплечий. Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея должно составлять 40 - 80 см. Так же рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул должен иметь дизайн, исключаящий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте.

Рабочее место оператора козлового крана соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78.

### **8.2. Производственная безопасность.**

В данном разделе рассмотрены следующие вопросы охраны труда: проанализированы условия труда с точки зрения наличия возможности появления вредных факторов и их воздействие на работающих, рассмотрены мероприятия по технике безопасности и производственной санитарии, а также

мероприятия по противопожарной профилактике на рабочем месте оператора козлового крана.

Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.

Для выбора факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [2]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в виде таблицы:

Таблица 9. Опасные и вредные факторы при выполнении работ на козловом кране.

| Факторы<br>(ГОСТ 12.0.003-2015)  | Этапы работ |              |              | Нормативные<br>документы  |
|--|-------------|--------------|--------------|---|
|  | Разработка  | Изготовление | Эксплуатация |   |
| 1.Отклонение показателей микроклимата  | +           | +            | +            | СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03                                      |
| 2.Превышение уровня шума   |             | +            | +            | СанПиН 2.2.2.542-96   |
| 3. Повышенный уровень электромагнитных излучений.  | +           | +            | +            | СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03  |
| 4.Недостаточная освещенность рабочей зоны  |             | +            | +            | СанПиН 2.2.4.1191-03<br>СП 52.13330.2011                        |
| 5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека | +           | +            | +            | СанПиН 2.2.4.548–96<br>СН 2.2.4/2.1.8.562–96<br>ГОСТ 30494-2011 |

### 8.2.1 Анализ вредных и опасных факторов.

**Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека:**

Для предотвращения поражения электрическим током, где размещаются рабочее место оператора козлового крана, оборудование должно быть оснащено защитным заземлением, занулением в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации[16]. Для предупреждения электротравматизма необходимо проводить соответствующие организационные и технические мероприятия: 1) оформление работы нарядом или устным распоряжением; 2) проведение инструктажей и допуск к работе; 3) надзор во время работы по опасности поражения электрическим током помещение оператора козлового крана ЛТ-62 относится к первому классу – помещения без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой 18-20°, с влажностью 40-50%) [16].

Основными непосредственными причинами электротравматизма, являются: 1) прикосновение к токоведущим частям электроустановки, находящейся под напряжением; 2) прикосновение к металлическим конструкциям электроустановок, находящимся под напряжением; 3) ошибочное включение электроустановки или несогласованных действий обслуживающего персонала; 4) поражение шаговым напряжением и др.

Основными техническими средствами защиты, согласно ПУЭ, являются защитное заземление, автоматическое отключение питания, устройства защитного отключения, изолирующие электрозащитные средства, знаки и плакаты безопасности. Наличие таких средств защиты предусмотрено в рабочей зоне. В целях профилактики периодически проводится инструктаж работников по технике безопасности.

#### Недостаточная освещенность рабочей зоны:

На рабочем месте оператора козлового крана имеется естественное (боковое двухстороннее) и искусственное освещение. Рабочие столы размещены таким образом, чтобы видео дисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.



На рабочем месте оператора козлового крана, в случаях работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк [6]. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк [6].

В качестве источников света применяются светодиодные светильники или металл галогенные лампы (используются в качестве местного освещения) [6].

*Таблица 10. Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения помещений жилых зданий. [6]*

| Помещение | Рабочая поверхность, плоскость нормирования КЕО, освещенности, высота плоскости над полом, м | Естественное освещение                    |                       | Совмещенное освещение                     |                       | Искусственное освещение               |                                    |  |
|-----------|--|---|-----------------------|---|-----------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--|
|           |  | КЕО $e_n$ , %                             |                       | КЕО $e_n$ , %                             |                       | Освещенность рабочих поверхностей, лк | Показатель дискомфорта М, не более | Коэффициент пульсации $K_p$ , %, не более                      |
|           |  | При верхнем или комбинированном освещении | При боковом освещении | При верхнем или комбинированном освещении | При боковом освещении |                                       |                                    |  |
| Кабинеты  | Г-0,8  | 3,0                                       | 1,0                   | 1,8                                       | 0,6                   | 300                                   | -                                  | $\leq 5\%$ (работа с ЭВМ)<br>$\leq 20\%$ (при работе с докум.) |

#### Повышенный уровень шума:

Из наиболее распространенных в производстве вредных факторов являются шум и вибрации. В данной работе следует выделить следующие группы источников:

- шум механического происхождения, возникающий при вибрации поверхностей оборудования, а также при одинарных или периодических ударах в соединениях деталей и или конструкциях;

– шум электромагнитного происхождения, возникающий вследствие колебаний электрических устройств (ротора, статора) под действием переменных магнитных полей.

Шум и вибрация вызывают головную боль, быструю утомляемость, бессонницу или сонливость, ослабляет внимание, ухудшается память, снижается реакция. При выполнении основной работы уровень звука на рабочем месте не должен превышать 80дБА. Источником вибрации является работающий электромашинный агрегат. Уровень вибрации не должен превышать 88 дБ.

Источником электромагнитных излучений являются системы производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии постоянного и переменного тока (0-3 кГц): кабели электропитания, электропроводка, выпрямители и преобразователи тока. Напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей не должна превышать 25В/м в диапазоне от 5Гц до 2кГц. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500В.

Таблица 11. Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест. [8]

| N<br>пп. | Вид трудовой<br>деятельности,<br>рабочее место   | Уровни звукового давления, дБ, в октавных<br>полосах со среднегеометрическими<br>частотами, Гц |    |     |     |     |      |      |      |      | Уровни звука<br>и<br>эквивалентные<br>уровни звука (дБА) |
|----------|--|--|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|--|
|          |  | 31,5   | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |  |
| 1        | 2  | 3  | 4  | 5   | 6   | 7   | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
| 1        | Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах | 86   | 71 | 61  | 54  | 49  | 45   | 42   | 40   | 38   | 50   |

#### Отклонение параметров микроклимата:

Для создания и автоматического поддержания рабочего места оператора козлового крана ЛТ-62 независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется кондиционирование воздуха. Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов автоматического

регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

Рабочее место оператора козлового крана ЛТ-62 является помещением I б категории. Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.) [7]

*Таблица 12. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений.*

| Период года | Катег. работ по уровню энергозатрат | Температура воздуха, °С | Температура поверхностей, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|-------------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Холодный    | Iб                                  | 21-23                   | 20-24                        | 40-60                              | 0,1                            |
| Теплый      | Iб                                  | 22-24                   | 21-25                        | 40-60                              | 0,1                            |

*Таблица 13. Допустимые величины интенсивности теплового облучения.*

| Облучаемая поверхность тела, % | Интенсивность теплового облучения, Вт/м <sup>2</sup> , не более |
|--------------------------------|---|
| 50 и более                     | 35  |
| 25-50                          | 70  |
| не более 25                    | 100   |

#### Повышенный уровень электромагнитных излучений.

Источником электромагнитных излучений являются системы производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии постоянного и переменного тока (0-3 кГц): кабели электропитания, электропроводка, выпрямители и преобразователи тока. Согласно напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей не должна превышать 25В/м в диапазоне от 5Гц до 2кГц. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500В.

Защита от внешнего облучения - регламентированные перерывы.

### **8.3. Экологическая безопасность.**

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в ВКР решений.

#### **8.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.**

Рабочий механизм содержит огромное количество компонентов, которые содержат вредные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды. К таким веществам относятся:

свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);

никель и цинк (могут вызывать дерматит);

щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу).

Поэтому электродвигатель требует специальных комплексных методов утилизации. В этот комплекс мероприятий входят:

отделение металлических частей от неметаллических;

металлические части переплавляются для последующего производства;

неметаллические части подвергаются специально переработке.

В настоящее время ведется создания и внедрения безотходной технологии в ряде отраслей промышленности, однако полный перевод ведущих отраслей промышленности на безотходную технологию потребует решения большого комплекса весьма сложных технологических, конструкторских и организационных задач.

### **8.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-2016 94 ЧС - это нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или определенной

территории (акватории), вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим бедствием, эпидемией, эпизоотией (болезнь животных), эпифитотией (поражение растений), применением возможным противником современных средств поражения и приведшее или могущее привести к людским или материальным потерям".

С точки зрения выполнения проекта характерны следующие виды ЧС:

1. Пожары, взрывы;
  2. Внезапное обрушение зданий, сооружений;
  3. Геофизические опасные явления (землетрясения);
  4. Метеорологические и агрометеорологические опасные явления;
- Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Согласно, пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно - техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м<sup>3</sup>.

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности; разработка схемы действий администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей; организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефону 01 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными

средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.

При проведении исследований наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара в помещении оператора козлового крана ЛТ-62. Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Основные источники возникновения пожара:

- 1) Неработоспособное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях. Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неполадки, а также проводить плановый осмотр электрооборудования.
- 2) Электрические приборы с дефектами. Профилактика пожара включает в себя своевременный и качественный ремонт электроприборов.
- 3) Перегрузка в электроэнергетической системе (ЭЭС) и короткое замыкание в электроустановке.

Под пожарной профилактикой понимается обучение пожарной технике безопасности и комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожаров.

Пожарная безопасность обеспечивается комплексом мероприятий:

- обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении (о необходимости установки домашних индикаторов задымленности и хранения зажигалок и спичек в местах, недоступных детям);
- пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения;
- обеспечение оборудованием и технические разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования).

В соответствии с ТР «О требованиях пожарной безопасности» для административного жилого здания требуется устройство внутреннего противопожарного водопровода.

Согласно ФЗ-123, НПБ 104-03 «Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях» для оповещения о возникновении пожара в каждом помещении должны быть установлены дымовые оптико-электронные автономные пожарные извещатели, а оповещение о пожаре должно осуществляться подачей звуковых и световых сигналов во все помещения с постоянным или временным пребыванием людей.

Рабочее место оператора козлового крана оснащено первичными средствами пожаротушения: огнетушителями ОУ-3 1шт., ОП-3, 1шт. (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, применяется для тушения ПК и оргтехники, класс пожаров А, Е.).

Таблица 14 – Типы используемых огнетушителей при пожаре в электроустановках

| Напряжение, кВ | Тип огнетушителя (марка) |
|----------------|--------------------------|
| До 1,0         | порошковый (серии ОП)    |
| До 10,0        | углекислотный (серии ОУ) |

Согласно НПБ 105-03 помещение, предназначенное для проектирования и использования результатов проекта, относится к типу П-2а.

Таблица 15. Категории помещений по пожарной опасности

| Категория помещения | Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении   |
|---------------------|---|
| П-2а                | Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 мегаджоуля на квадратный метр. |



## **Вывод**

В данном разделе выпускной квалификационной работы были выявлены и проанализированы опасные и вредные факторы на объекте, а также разработаны меры по уменьшению воздействия опасных и вредных факторов на работающий персонал. На основании изученной литературы по данной проблеме были учтены важнейшие аспекты социальной ответственности, такие как: производственная санитария, опасные и вредные факторы, освещение, производственный шум, пожаробезопасность, охрана окружающей среды и возникновение чрезвычайных ситуаций, для создания условий безопасной и комфортной работы. В свою очередь эти условия позволят повысить хорошую работоспособность в течении рабочего дня, повысить качество труда и не нанести вред экологии.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

|               |                                 |
|---------------|---------------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                      |
| 3-5Г5Б1       | Абдухаликову Хумоюну Бобир угли |

|                            |  |                                  |   |
|----------------------------|--|----------------------------------|---|
| <b>Школа</b>               | <b>Инженерная школа<br/>энергетики</b> | <b>Отделение школы (НОЦ)</b>     | <b>ОЭЭ</b>                                  |
| <b>Уровень образования</b> | Бакалавриат                            | <b>Направление/специальность</b> | 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника |

### Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

|  |   |
|--|---|
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих | Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ. |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов   | -30% премии; 20% надбавки; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент.   |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования                                  | Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %.  |

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

|  |  |
|--|--|
| 1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения | Анализ и оценка конкурентоспособности НИ; SWOT-анализ.   |
| 2. Планирование и формирование бюджета научных исследований  | Формирование плана и графика разработки:<br>-проведение SWOT анализа,<br>-разработка графика Гантта.<br>Формирование бюджета затрат на научное исследование:<br>- материальные затраты;<br>- заработная плата;<br>- отчисления на социальные цели;<br>- накладные расходы; |
| 3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования        | - расчет интегрального показателя ресурсоэффективности   |

### Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности НИ
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Гантта
4. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

|                  |                              |                                       |                |             |
|------------------|------------------------------|---------------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Должность</b> | <b>ФИО</b>                   | <b>Ученая<br/>степень,<br/>звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| Доцент ОГСН ШБИП | Киселева Елена Станиславовна | К.Э.Н.                                |                | 20.03.2020  |

Задание принял к исполнению студент:

|               |                               |                |             |
|---------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                    | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| 3-5Г5Б1       | Абдухаликов Хумоюн Бобир угли |                | 20.03.2020  |

## **9 . Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.**

Целью данного раздела является обоснование целесообразности проектирования и создания технологического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования. В данном разделе производится расчет суммы затрат на проектирование асинхронного электропривода механизма передвижения крана и сумма затрат на покупку оборудования для реализации проекта.

Для достижения цели в данном разделе рассмотрены следующие задачи:

- составление SWOT-анализа работы крана;
- планирование технико-конструкторских работ;
- определение ресурсной эффективности проекта.

### **9.1 SWOT-анализ электропривода механизма передвижения крана.**

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. Он представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Матрица SWOT.

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | <b>Сильные стороны проекта:</b><br>С1. Высокая энергоэффективность и энергосбережение технологии<br>С2. Экологичность технологии<br>С3. Повышение безопасности производства<br>С4. Большая экономия электрической энергии<br>С5. Снижение затрат на содержание и обслуживание | <b>Слабые стороны проекта:</b><br>Сл1. Высокая цена на оборудование и комплектующие<br>Сл2. Отсутствие квалифицированного персонала<br>Сл3. Большой срок поставки оборудования и комплектующих |
| <b>Возможности:</b><br>В1. Автоматизация технологического процесса<br>В2. Энерго и ресурсосбережение<br>В3. Сокращение рабочих площадей<br>В4. Повышение износостойкости элементов и деталей электропривода  | В1 С1С2С3С4С5<br><br>В2 С1С3С4С5<br><br>В3 С2С3С5<br><br>В4 С1С2С4С5  | В1 Сл1Сл2Сл3<br><br>В2 Сл1Сл3<br><br>В3 Сл2<br><br>В4 Сл1Сл3   |
| <b>Угрозы:</b><br>У1. Отсутствие спроса на технологию производства<br>У2. Развитая конкуренция технологии производства<br>У3. Введение дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции<br>У4. Риск несвоевременной поставки оборудования | У1 С5<br><br>У2 С5  | У1 Сл3<br><br>У2 Сл3<br><br>У3 Сл2<br><br>У4 Сл3   |

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

«+» - сильное соответствие;

«-» - слабое соответствие.

Анализ интерактивных таблиц приведен в таблицах 4.2 и 4.3.

Таблица 4.2. Интерактивная матрица возможностей.

| Возможности            | Сильные стороны проекта |     |     |    |    |
|------------------------|-------------------------|-----|-----|----|----|
|                        | C1                      | C2  | C3  | C4 | C5 |
| B1                     | +                       | +   | +   | +  | +  |
| B2                     | +                       | -   | +   | +  | +  |
| B3                     | -                       | +   | +   | -  | +  |
| B4                     | +                       | +   | -   | +  | +  |
| Слабые стороны проекта |                         |     |     |    |    |
|                        | Сл1                     | Сл2 | Сл3 | -  | -  |
| B1                     | +                       | +   | +   |    |    |
| B2                     | +                       | -   | -   |    |    |
| B3                     | -                       | +   | +   |    |    |
| B4                     | +                       | -   | +   |    |    |

Таблица 4.3. Интерактивная матрица угроз.

| Угрозы                 | Сильные стороны проекта |     |     |    |    |
|------------------------|-------------------------|-----|-----|----|----|
|                        | C1                      | C2  | C3  | C4 | C5 |
| У1                     | -                       | -   | -   | -  | +  |
| У2                     | -                       | -   | -   | -  | +  |
| У3                     | -                       | -   | -   | -  | -  |
| У4                     | -                       | -   | -   | -  | -  |
| Слабые стороны проекта |                         |     |     |    |    |
|                        | Сл1                     | Сл2 | Сл3 | -  | -  |
| У1                     | -                       | -   | +   |    |    |
| У2                     | -                       | -   | +   |    |    |
| У3                     | -                       | +   | -   |    |    |
| У4                     | -                       | -   | +   |    |    |

В результате проведения SWOT-анализа были рассмотрены сильные и слабые стороны технического проекта, оказалось, что самой сильной стороной проекта является большая экономия потребляемой электрической энергии, так как электропривод позволяет двигателю работать при разном питающем напряжении, в зависимости от нагрузки. Кроме того, вследствие автоматизации технологического процесса повышается безопасность

производства. Как слабую сторону проекта, можно отметить рост конкуренции, появление подобных технологий.

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 1.2 и 1.3, показывает соответствие сильных сторон с возможностями, нежели с угрозами. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

## **9.2 Организация работ технического проекта.**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения проектирования частотно-регулируемого механизма передвижения крана.

### **9.2.1 Определение структуры работ в рамках технического проектирования.**

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят руководитель и инженер. Каждый вид запланированных работ закреплен за соответствующим исполнителем.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 4.4.

Таблица 4.4. Перечень этапов работ и распределение исполнителей.

| Основные этапы                                 | № работы | Содержание работ                                      | Исполнитель  |
|--|----------|---|--------------|
| Составление технического задания               | 1        | Составление и утверждение технического задания        | Руководитель |
| Выбор направления технического проектирования  | 2        | Подбор и изучение материалов по теме                  | Инженер      |
| Теоретические и экспериментальные исследования | 3        | Выбор оборудования                                    | Инженер      |
|  | 4        | Расчет элементов электропривода                       | Инженер      |
|  | 5        | Построение естественных и искусственных характеристик | Инженер      |

|   |    |   |                       |
|---|----|---|-----------------------|
|   | 6  | Проверка правильности выбора оборудования         | Руководитель, Инженер |
|   | 7  | Расчет и проверка модели АД                       | Руководитель, Инженер |
|   | 8  | Расчет и проверка модели АД-ПЧ                    | Руководитель, Инженер |
| Оформление отчета по техническому проектированию и защита ВКР | 9  | Составление пояснительной записки                 | Инженер               |
|   | 10 | Проверка и рецензирование квалификационной работы | Руководитель, Инженер |
|   | 11 | Защита выпускной квалификационной работы          | Руководитель, Инженер |

Содержание этапов:

№1 - составление и утверждение технического задания – выбор направления исследований руководителем и составление плана работ;

№2 - Подбор и изучение материалов по теме – ознакомление с предметом работы, изучение первичных источников информации об объекте исследования;

№3 - Выбор оборудования – расчет мощности электропривода и его выбор по номенклатуре, также выбор преобразователя частоты и датчиков положения;

№4 - Расчет элементов электропривода - определение параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя;

№5 - Построение естественных и искусственных характеристик – расчет и построение естественных и искусственных механических и электромеханических характеристик электродвигателя;

№6 - Проверка правильности выбора оборудования – проверка руководителем правильности выбора оборудования, оценка результатов, устранение недочетов;

№7 - Расчет и проверка модели АД – построение естественных механических и электромеханических характеристик в среде MATLAB при пуске под нагрузкой;

№8 - Расчет и проверка модели АД-ПЧ–расчет статических характеристик системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель, расчет и построение семейства механических и электромеханических характеристик

асинхронного двигателя при изменении частоты подаваемого напряжения в среде MATLAB.

№9 - Составление пояснительной записки - оформление результатов проектной деятельности;

№10 - Проверка и рецензирование квалификационной работы- окончательная проверка руководителем, устранение недочетов инженером, подготовка презентации, размещение пояснительной записки в электронно-библиотечной системе ТПУ.

№11 - Защита выпускной квалификационной работы–выступление перед комиссией, ответы на вопросы.

### **9.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.**

Трудовые затраты составляют значительную часть стоимости разработки, поэтому необходимо определить трудоемкость каждого из участников выполнения проекта.

Трудоемкость выполнения технического проектирования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \cdot t_{min\ i} + 2 \cdot t_{max\ i}}{5}, \quad (1.1)$$

где  $t_{ож\ i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{min\ i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{max\ i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;



Результаты расчетов продолжительности выполнения работ приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5. Расчет продолжительности работ, чел.-дн.

| № работы | Содержание работ                                      | Исполнитель  | Минимально возможная трудоемкость | Максимально возможная трудоемкость | Ожидаемая трудоёмкость |
|----------|---|--------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------|
| 1        | Составление и утверждение технического задания        | Руководитель | 1                                 | 1                                  | 1                      |
| 2        | Подбор и изучение материалов по теме                  | Инженер      | 8                                 | 12                                 | 10                     |
| 3        | Выбор оборудования                                    | Инженер      | 8                                 | 12                                 | 10                     |
| 4        | Расчет элементов электропривода                       | Инженер      | 8                                 | 12                                 | 10                     |
| 5        | Построение естественных и искусственных характеристик | Инженер      | 8                                 | 12                                 | 10                     |
| 6        | Проверка правильности выбора оборудования             | Руководитель | 1                                 | 1                                  | 1                      |
|          |   | Инженер      | 14                                | 16                                 | 15                     |
| 7        | Расчет и проверка модели АД                           | Руководитель | 1                                 | 1                                  | 1                      |
|          |   | Инженер      | 14                                | 16                                 | 15                     |
| 8        | Расчет и проверка модели АД-ПЧ                        | Руководитель | 1                                 | 1                                  | 1                      |
|          |   | Инженер      | 10                                | 14                                 | 12                     |
| 9        | Составление пояснительной записки                     | Инженер      | 8                                 | 12                                 | 10                     |
| 10       | Проверка и рецензирование квалификационной работы     | Руководитель | 3                                 | 7                                  | 5                      |
|          |   | Инженер      | 4                                 | 10                                 | 7                      |
| 11       | Защита выпускной квалификационной работы              | Руководитель | 1                                 | 1                                  | 1                      |
|          |   | Инженер      | 1                                 | 1                                  | 1                      |

### **9.2.3 разработка графика проведения технического проектирования.**

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения технических работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [4].

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. На основе таблицы 1.5 строим план-график проведения работ (таблица 1.6).

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 11 декад, начиная с третьей декады февраля, заканчивая первой декадой июня. Учитывая вероятностный характер оценки трудоемкости, реальная продолжительность работ может быть как меньше (при благоприятном стечении обстоятельств), так и несколько превысить указанную продолжительность (при неблагоприятном стечении обстоятельств).

Продолжительность выполнения проекта в рабочих днях составит 101 календарных дней. Из них:

100 день – продолжительность выполнения работ инженером;  
10 дней – продолжительность выполнения работ руководителем.

Таблица 4.6. Диаграмма Гантта.

| №<br>ра<br>боты                      | Содержание работ   | Исполнители* | Продолжитель-<br>ность, дн | Продолжительность выполнения работ по декадам |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |
|--------------------------------------|--|--------------|----------------------------|---|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|------|
|                                      |  |              |                            | Фев-<br>раль                                  | Март |   |   | Апрель |   |   | Май |   |   | Июнь |
|                                      |  |              |                            |   | 3    | 1 | 2 | 3      | 1 | 2 | 3   | 1 | 2 |      |
| 1                                    | Составление и утверждение<br>технического задания        | Р            | 1                          | ■   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |
| 2                                    | Подбор и изучение материалов по<br>теме                  | И            | 10                         | ■   | ■    |   |   |        |   |   |     |   |   |      |
| 3                                    | Выбор оборудования                                       | И            | 10                         |   | ■    | ■ |   |        |   |   |     |   |   |      |
| 4                                    | Расчет элементов электропривода                          | И            | 10                         |   |      | ■ | ■ |        |   |   |     |   |   |      |
| 5                                    | Построение естественных и<br>искусственных характеристик | И            | 10                         |   |      |   | ■ | ■      |   |   |     |   |   |      |
| 6                                    | Проверка правильности выбора<br>оборудования             | Р            | 1                          |   |      |   |   |        | ■ |   |     |   |   |      |
|                                      |  | И            | 15                         |   |      |   |   | ■      | ■ | ■ |     |   |   |      |
| 7                                    | Расчет и проверка модели АД                              | Р            | 1                          |   |      |   |   |        |   |   | ■   |   |   |      |
|                                      |  | И            | 15                         |   |      |   |   |        | ■ | ■ | ■   |   |   |      |
| 8                                    | Расчет и проверка модели АД-ПЧ                           | Р            | 1                          |   |      |   |   |        |   |   |     | ■ |   |      |
|                                      |  | И            | 12                         |   |      |   |   |        |   | ■ | ■   | ■ |   |      |
| 9                                    | Составление пояснительной записки                        | И            | 10                         |   |      |   |   |        |   |   |     | ■ | ■ |      |
| 10                                   | Проверка и рецензирование<br>квалификационной работы     | Р            | 5                          |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   | ■    |
|                                      |  | И            | 7                          |   |      |   |   |        |   |   |     |   | ■ | ■    |
| 11                                   | Защита выпускной квалификационной<br>работы              | Р            | 1                          |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   | ■    |
|                                      |  | И            | 1                          |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   | ■    |
| * «И» - инженер, «Р» - руководитель. |  |              |                            |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |

### 9.3 Составление сметы технического проекта.

При планировании сметы технического проекта (ТП) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования сметы ТП используется группировка затрат по следующим статьям:

- затраты на специальное оборудование;
- полная заработная плата исполнителей ТП;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Материальные затраты на комплектующие, провода, шлейфы и т.д. не рассчитываются, так как они укомплектованы вместе с оборудованием.

#### 9.3.1 Расчет материальных затрат технического проекта.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} \quad (1.2)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении технического проекта;

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

К материальным затратам можно отнести: бумага, ручка, корректор, USB-накопитель, блокнот, линейка, мульти фора.

Стоимость расходов на материалы и комплектующие изделия приведена в таблице 4.7.

Таблица 4.7. Стоимость материалов и комплектующих.

| Наименование   | Единица измерения | Количество | Цена за ед., руб. | Затраты на материалы (Зм), руб. |
|----------------|-------------------|------------|-------------------|---------------------------------|
| Бумага         | Лист              | 150        | 2,5               | 375                             |
| Ручка          | Шт.               | 1          | 60                | 60                              |
| USB накопитель | Шт.               | 1          | 305               | 305                             |
| Линейка        | Шт.               | 1          | 85                | 85                              |
| Мульти фора    | Шт.               | 10         | 2                 | 20                              |
| Блокнот        | Шт.               | 1          | 100               | 100                             |
| Корректор      | Шт.               | 1          | 55                | 55                              |
| Итого:         |                   |            |                   | 1000                            |

### 9.3.2 Полная заработная плата исполнителей.

В этом разделе рассчитывается основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Полная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{полн}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} \quad (1.3)$$

где  $З_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.;

$З_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.

Основная заработная плата исполнителей рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (1.4)$$

где  $З_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{тс}} + З_{\text{р.к.}}}{F_d} \quad (1.5)$$

где  $З_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$З_{\text{р.к.}}$  – доплата с учетом районного коэффициента (30 %), руб.;

$F_d$  – количество рабочих дней в месяце (принимается равным 26), раб.дн.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.8.

Таблица 4.8. Расчет основной заработной платы исполнителей.

| Исполнитель  | Оклад, руб. | Районная доплата, руб. | Зарплата месячная, руб. | Среднедневная заработная плата, руб. | Продолжительность работ, раб. дн. | Основная заработная плата, руб. |
|--------------|-------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Руководитель | 35120       | 10536                  | 45656                   | 1756                                 | 10                                | 17560                           |
| Инженер      | 12300       | 3690                   | 15990                   | 615                                  | 100                               | 61500                           |
| Итого        |             |                        |                         |                                      |                                   | 79060                           |

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей учитывают выплаты, связанные с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot k_{\text{доп}} \quad (1.6)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15), руб.;

Дополнительная заработная плата оставляет 12-15% от основной, расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 4.9.

Таблица 4.9. Расчет дополнительной и полной заработной платы.

| Исполнитель  | Коэффициент дополнительной заработной платы | Основная заработная плата, руб. | Дополнительная заработная плата, руб. | Полная заработная плата, руб. |
|--------------|---|---------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| Руководитель | 0,15  | 17560                           | 2634                                  | 20194                         |
| Инженер      | 0,12  | 61500                           | 7380                                  | 68900                         |
| Итого        |   | 79060                           | 10014                                 | 89094                         |

### **9.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).**

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (1.7)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные страховые фонды составят:

$$З_{внеб} = 0.302 \cdot 89.1 = 26.9 \text{ тыс. руб.}$$

### **9.3.4 Накладные расходы**

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы и т.д.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16% от общей суммы затрат.

## **9.4 Формирование сметы технического проекта**

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение суммы затрат на технический проект приведено в таблице

4.10.

Таблица 4.10 – Смета затрат технического проекта.

| Наименование статьи                                | Сумма, тыс. руб. | Структура затрат, % |
|--|------------------|---------------------|
| 1. Материальные затраты                            | 1                | 0.7                 |
| 2. Затраты по полной заработной плате исполнителей | 89.1             | 64.3                |
| 3. Отчисления во внебюджетные фонды                | 26.9             | 19.0                |
| 4. Накладные расходы                               | 24.3             | 16                  |
| Итого  | 141.1            | 100                 |

Исходя из представленной выше сметы, видно, что сумма затрат на выполнение технического проекта составляет 141.1тыс. руб. Заметим, что большую часть (64,3 %) всех затрат составляет стоимость специального оборудования.

### 9.5 Определение ресурсоэффективности проекта.

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (1.8)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  - весовой коэффициент разработки;

$b_i$  - балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Для оценки ресурсоэффективности проекта были подобраны критерии эффективности такие как:

- повышение производительности труда пользователя осуществляется путем автоматизации технологического процесса;
- удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) - возможность диспетчеризации позволяет сократить количество осмотров системы за период эксплуатации;



– энергоэкономичность - применение в насосных установках частотно-регулируемого электропривода дает возможность использовать мощные насосы в режиме малых подач и уменьшить их количество;

– надежность - отсутствие избыточного напора воды: плавное изменение технологических параметров насоса (подачи и давления), позволяет повысить надежность гидравлической системы;

– уровень шума - применение частотно-регулируемого электропривода значительно снижает уровень шума насосной установки в режиме малых подач воды;

– безопасность - нет необходимости постоянного присутствия обслуживающего персонала, так как управление и мониторинг за работой насосного агрегата осуществляется дистанционно.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Сравнительная оценка характеристик проекта.

| Критерии   | Весовой коэффициент | Бальная оценка разработки |
|--|---------------------|---------------------------|
| 1. Повышение производительности труда пользователя | 0,13                | 4                         |
| 2. Удобство в эксплуатации                         | 0,16                | 5                         |
| 3. Энергоэкономичность                             | 0,14                | 5                         |
| 4. Надежность                                      | 0,18                | 5                         |
| 5. Уровень шума                                    | 0,15                | 4                         |
| 6. Безопасность                                    | 0,14                | 5                         |
| 7. Ремонтопригодность                              | 0,10                | 3                         |
| Итого:   | 1,00                |                           |

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта:

$$I_{pi} = 0,13 \cdot 4 + 0,16 \cdot 5 + 0,14 \cdot 5 + 0,18 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,14 \cdot 5 + 0,10 \cdot 3 \\ = 4,52$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности, гибкости и безопасности позволяют судить о надежности системы.

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В результате проведения SWOT-анализа были выявлены как сильные, так и слабые стороны технического проекта. В таких случаях используют интерактивные матрицы возможностей и угроз. Анализ данных матрицы, установил, что соответствия угроз с сильными и слабыми сторонами имеют низкую вероятность, что нельзя сказать о возможностях. В итоге следует, что данный технический проект имеет несколько важных преимуществ, таких как высокая безопасность производства и энергоэффективность, которые обеспечат повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства.

- При планировании технических работ была составлена ленточная диаграмма Ганта. Данная диаграмма позволяет оптимально спланировать время работы исполнителей проекта (руководителя и инженера).

- Составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта. По этим данным можно определить, стоит ли проводить дополнительные мероприятия по оптимизации затрат на проект или нет.

- Оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала довольно высокий результат (4,52 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

### **Заключение.**

Целью данной выпускной квалификационной работы являлся вопрос исследования регулируемого электропривода передвижения козлового крана на основе комплектного преобразователя частоты Altivar 71.

В работе предложено реализовать систему РЭП рамы как систему преобразователь частоты - асинхронный двигатель с возможностью реализации законов скалярного управления по разомкнутой структуре.

В результате исследования статического режима работы скалярного управления установлено, что электропривод обеспечивает заданную область

работы в указанном диапазоне регулирования скорости, что удовлетворяет техническому заданию. Скалярное управление обладает простотой и возможностью работы без обратной связи.

В ходе имитационного моделирования динамических режимов работы установлено, что разработанная система устойчиво работает в требуемом диапазоне, запуск происходит мягко, без больших скачков момента. Проведены выбор и обоснование принципиальной схемы электропривода, составлена смета капитальных затрат, рассчитан экономический эффект. Рассмотрены вопросы безопасности и экологичности проекта.

Таким образом, разработанная система РЭП механизма полностью удовлетворяет техническим требованиям. Спроектированный электропривод позволит увеличить срок службы крана, улучшить технико-экономические показатели, сократить энергопотребление.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнен технический проект и решены следующие задачи:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,52 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность производства участка путем улучшения энергоэффективности, энергосбережения при внедрении более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации.

## THE CONCLUSION

The purpose of the given final qualifying work was the question of the study controlled электропривода moving the goatskin tap on base of the complete converter of the frequency Altivar 71.

In work is offered realize the system REP frames as system converter frequencies - an anisochronous engine with possibility of the realization of the laws of scalar management on open structure.

As a result of studies steady-state state of working scalar management is installed that электропривод provides the givenned area of the work in specified range of the regulation to velocities that satisfies to technical requirement. Scalar management possesses the simplicity and possibility of the work without feedback.

In the course of simulation modeling dynamic state of working is installed that designed system firm works in required range, start occurs softly, without greater horse race of the moment. The Organized choice and motivation of the principle scheme электропривода, is formed cost estimate of the capital expenditures, is calculated economic effect. The Considered questions to safety and ecological capacities of the project.

Thereby, designed system REP mechanism completely satisfies to specificationses. Designed электропривод will allow to enlarge the lifetime of the tap, perfect the technical-econmic factor.

### **Перечень использованных источников**

1. Белов М.П., Новиков В.А., Рассудов Л.Н., Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов, М.:Академия, 2004.
2. Справочник по электрическим машинам. В 2 т. Под общ. ред. Копылова И.П. Т.1. М., «Энергоатомиздат», 1988
3. Москаленко В.П. Электрический привод. М., «Высшая школа», 2000.
4. Ланграф С.В., Асинхронный электропривод, ТПУ Томск, 2003 г.
5. Фираго Б.И., Павлячик Л. КПД асинхронного электродвигателя при частотном управлении с различными видами нагрузок//Изв. ВУЗов и энерг. объедин. СНГ. Энергетика. 2001. №3. С 52 –59.
6. Мощинский Ю. А., Беспалов В. Я., Кирякин А. А. Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным. – Электричество, 1998.
7. Чернышев А. Ю., Ланграф С. В., Чернышев И. А. Исследование систем «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель»: Методические указания. – Томск: Изд. ТПУ, 2003. – 24с.
8. Чернышев А. Ю., Ланграф С. В., Чернышев И. А. Исследование систем скалярного частотного управления асинхронным двигателем: Методические указания. – Томск: Изд. ТПУ, 2003. – 23с.
9. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. М: Издательский центр «Академия», 2004. – 576 с.
10. Яуре А. Г., Певзнер Е.М., Крановый электропривод, справочник, – М.:Энергоатомиздат, 1988 – 342с.: ил.
11. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами, под ред. Круповича, Москва, Энергоатомиздат, 1982г.;

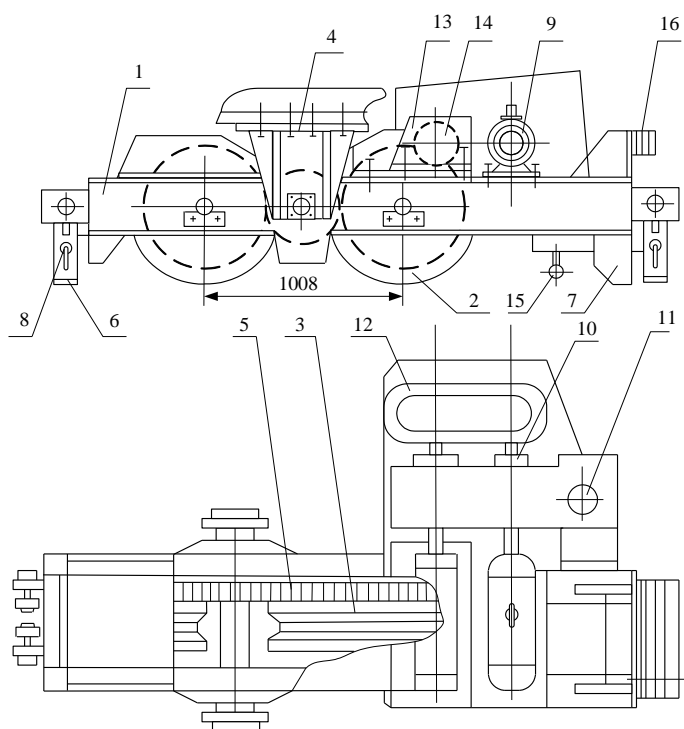
- 12.Безопасность жизнедеятельности./ Под ред. С.В. Белов. – М.: Высш. шк., 1999. – 448 с.
- 13.Пожарная безопасность. Взрывобезопасность. Справочник/ Под ред. А.Н.Баратова –М.: Энергия, 1987.
- 14.Правила устройства электроустановок, М.: Энергоатомиздат,1999.
- 15.Алиев И.И. Электротехнический справочник. – 4-е изд., испр. – М.: ИП РадиоСофт, 2002. – 384 с.
- 16.А.И. Ильин «Экономика предприятия» 2 издание. Новое издание, 2008г.
- 17.Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Технико-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.
- 18.Н.И.Королёва. Организация производства на предприятии: Учебное пособие. Томск Издание ТПУ, 2005г.
- 19.ТК РФ, N 197 - "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 16.12.2019).
- 20.ГОСТ 12.2.032-78 - ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
- 21.ГОСТ 12.0.003-2015 - ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
- 22.СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 - Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
- 23.СанПиН 2.2.2.542-96 - Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ.
- 24.СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 - Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

- 25.СанПиН 2.2.4.1191-03 - Электромагнитные поля в производственных условиях.
- 26.СП 52.13330.2011 - Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*.
- 27.СанПиН 2.2.4.548–96 - Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- 28.СН 2.2.4/2.1.8.562–96 - Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
- 29.ГОСТ 30494-2011 - Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
- 30.Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 – "Об организации сбора, вывоза, утилизации и переработки бытовых и промышленных отходов на территории муниципального образования "Город Томск".



Приложение А

Графический материал



Кинематическая схема механизма передвижения

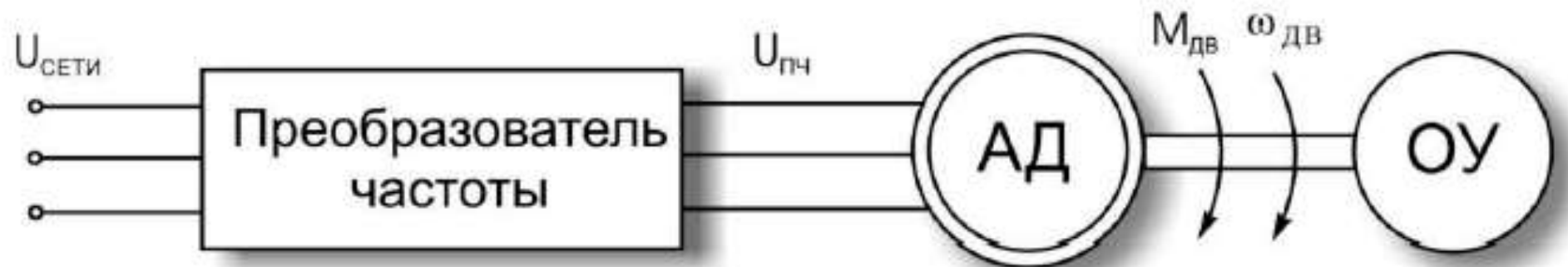
Обозначение на схеме:

1. Рама;
2. Ходовые колеса;
3. Зубчатые колеса;
4. Опора;
5. Промежуточная шестерня;
6. Противоугонный захват;
7. Щит;
8. Винт;
9. Электродвигатель;
- 10.Муфта;
- 11.Тормоз;
- 12.Редуктор;

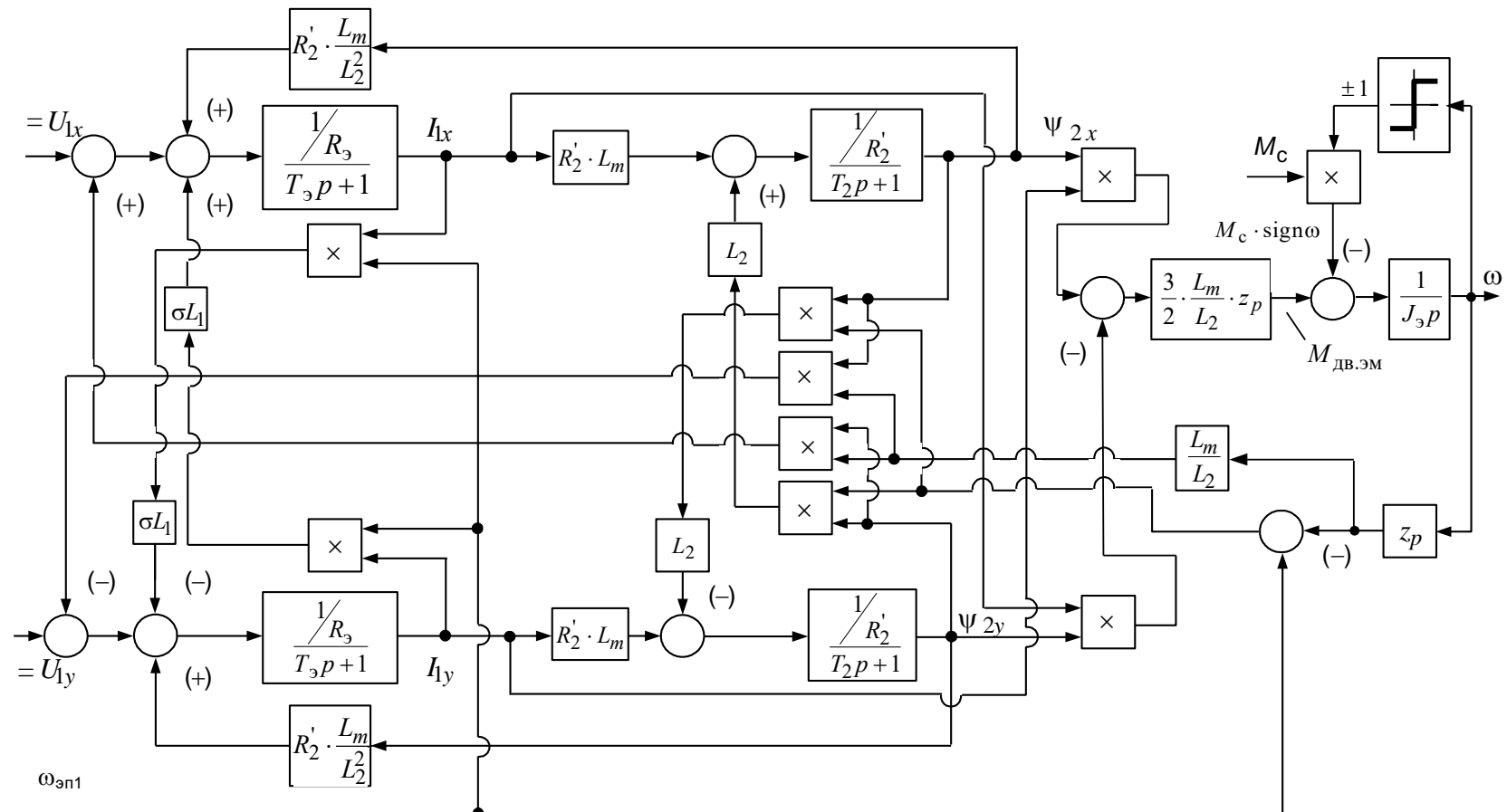
13.Выносная опора;

14.Упор упругий.

# Схема электрическая функциональная



Структурная схема асинхронного двигателя во вращающейся со скоростью произвольно ориентированной системе координат  $x, y$



## Схема имитационной модели в программной среде *MATLAB*

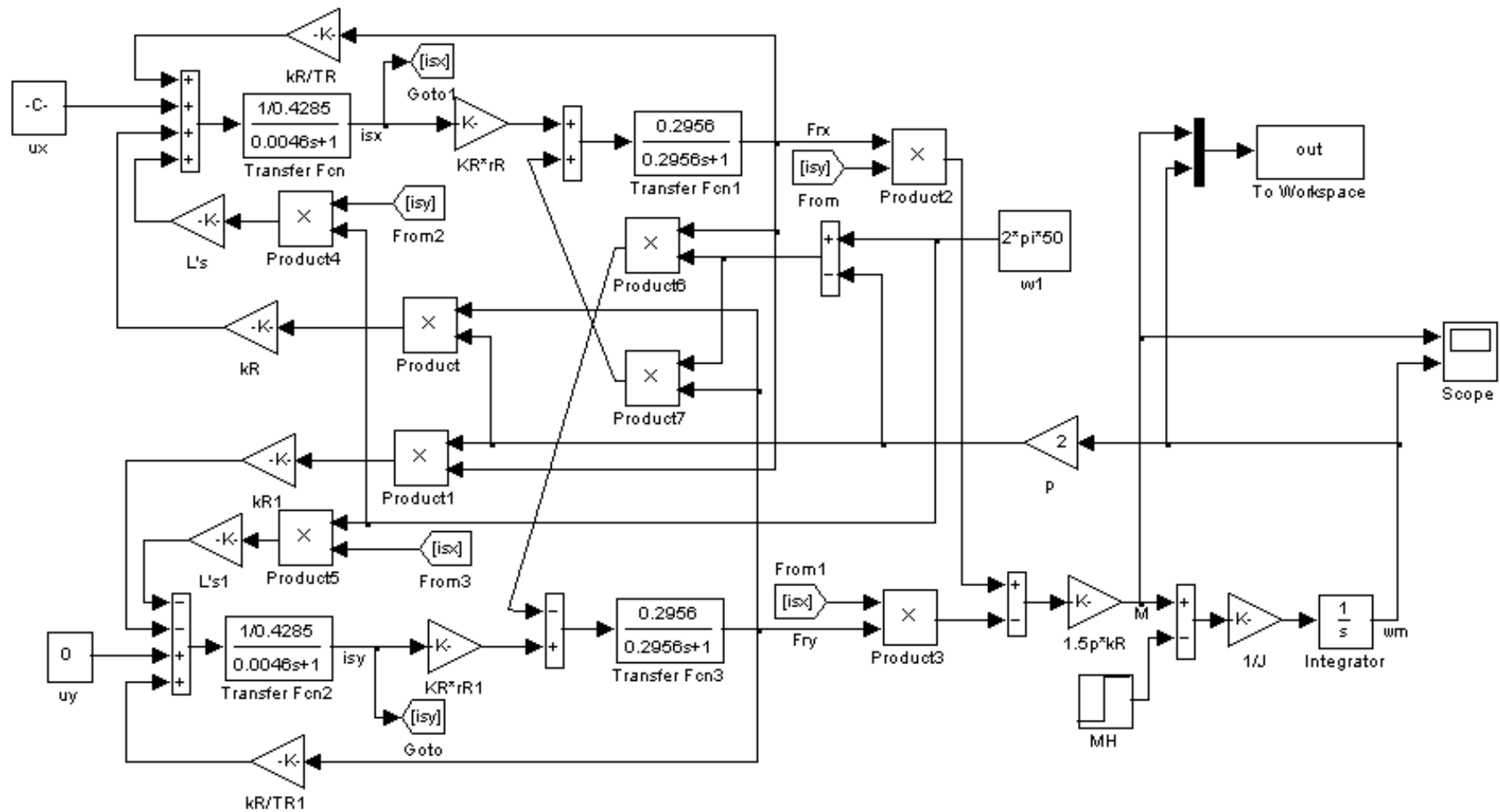
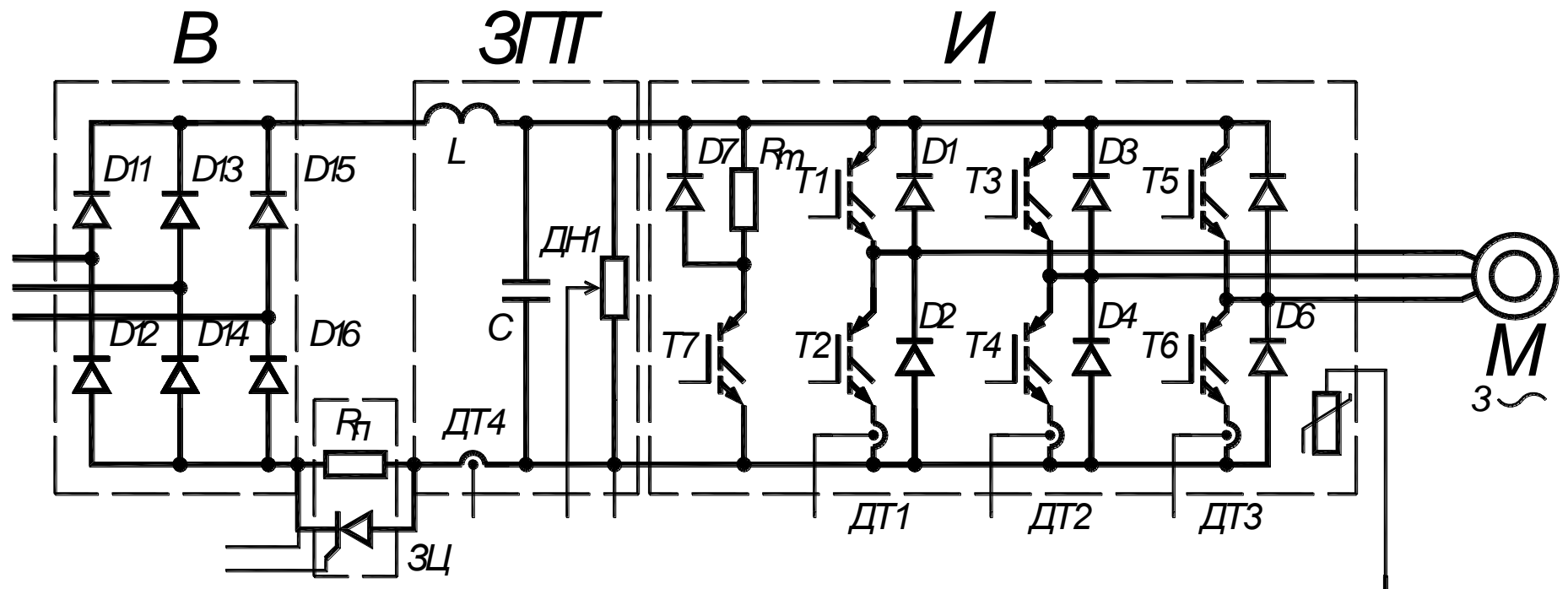
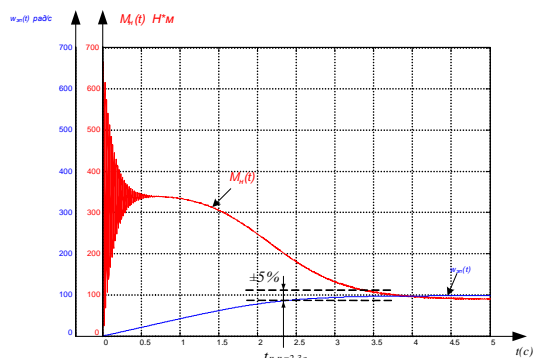
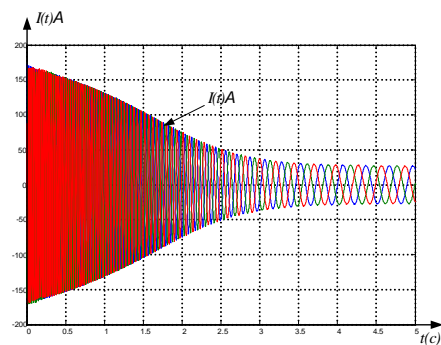


Схема электрическая принципиальная

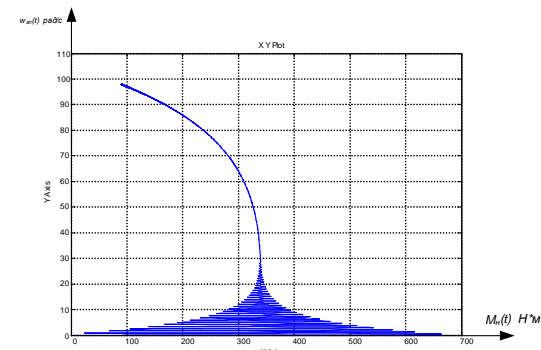




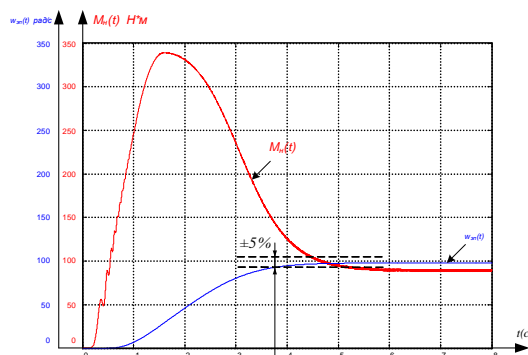
Переходный процесс при пуске короткозамкнутого асинхронного двигателя МТКФ (Н) 311-6 прямым включением в сеть



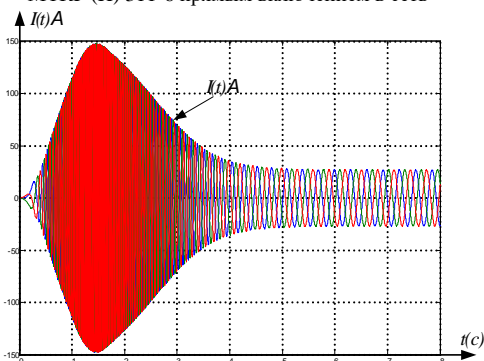
Переходный процесс тока статора при пуске короткозамкнутого асинхронного двигателя МТКФ (Н) 311-6 прямым включением в сеть



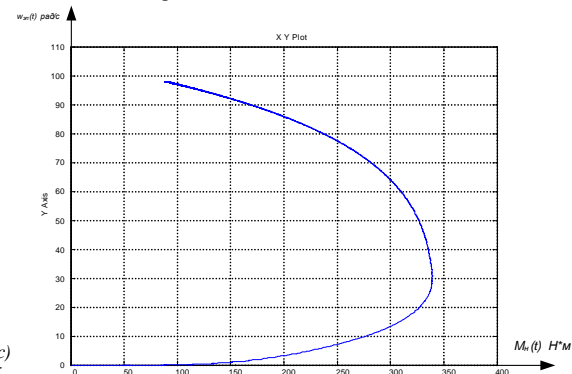
Динамическая механическая характеристика асинхронного двигателя МТКФ (Н) 311-6



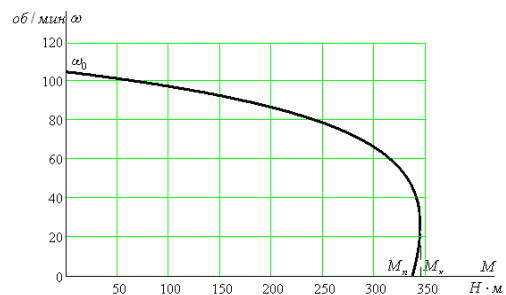
Переходный процесс двигателя МТКФ (Н) 311-6 при пуске с задатчиком интенсивности



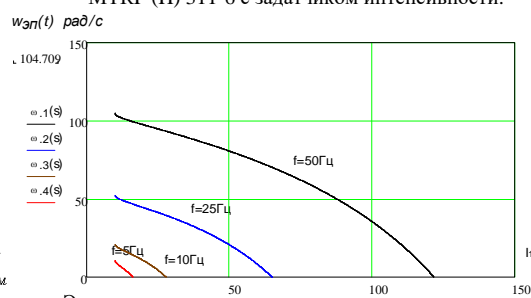
Переходный процесс тока статора при пуске короткозамкнутого асинхронного двигателя МТКФ (Н) 311-6 с задатчиком интенсивности.



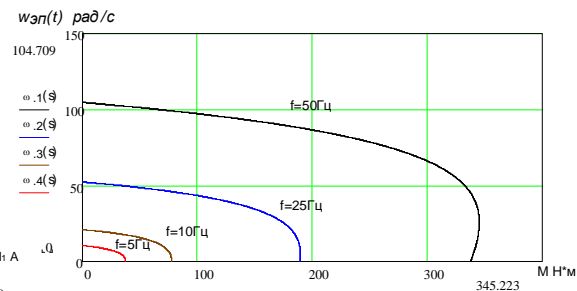
Динамическая механическая характеристика двигателя МТКФ (Н) 311-6 при пуске с задатчиком интенсивности



Механические характеристики асинхронного двигателя



Электромеханические характеристики двигателя при законе регулирования скорости



Механические характеристики двигателя при законе регулирования скорости